BEITRÄGE
ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ

GEOTECHNISCHE SERIE, 23. LIEFERUNG

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der
Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Verhalten der Bausteine gegen Witterungseinflüsse in der Schweiz

Teil I

Von F. de Quervain

KOMMISSIONSVERLAG:
KÜMMERLY & FREY AG., GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN
1945

DRUCK VON ASCHMANN & SCHELLER AG., BUCHDRUCKEREI ZUR FROSCHAU, ZÜRICH



BEITRÄGE
ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
GEOTECHNISCHE SERIE, 23. LIEFERUNG

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der
Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Verhalten der Bausteine gegen Witterungseinflüsse in der Schweiz

Teil I

Von F. de Quervain

KOMMISSIONSVERLAG:
KÜMMERLY & FREY AG., GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN
1945

DRUCK VON ASCHMANN & SCHELLER AG., BUCHDRUCKEREI ZUR FROSCHAU, ZÜRICH

Vorwort der Geotechnischen Kommission.

An der Sitzung vom 18. Dezember 1943 legte Herr Dr. F. de Quervain der Geotechnischen Kommission eine Arbeit vor, betitelt: „Verhalten der Bausteine gegen Witterungseinflüsse in der Schweiz". Die Kommission nahm die Arbeit entgegen und beschloß den Druck in den „Beiträgen".

Es handelt sich um den I. Teil einer Untersuchung über die Wetterbeständigkeit in der Schweiz verwendeter Bausteine, in dem vor allem Beobachtungen über das Verhalten von Natursteinen an Bauwerken zusammengestellt werden. Es ist selbstverständlich, daß in einer derartigen Arbeit in erster Linie auf die an Bauten bemerkbaren Schäden eingegangen werden muß. Das findet besonders im Bildermaterial seinen Ausdruck. Es hätte natürlich zu weit geführt, die Gegenbeispiele von Stellen guten Verhaltens stark zu vermehren, wie sie an Bauten mit sachgemäßer Steinverwendung allenthalben beobachtet werden können.

Ein II. Teil wird eingehender auf die bei der Verwitterung natürlicher und künstlicher steinartiger Baustoffe sich abspielenden physikalischen und chemischen Vorgänge eingehen und sich mit Methoden zur Beurteilung des Verhaltens gegenüber Witterungseinflüssen befassen.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Verfasser allein verantwortlich.

ZÜRICH, September 1945.

Für die Geotechnische Kommission
der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Der Präsident:	Der Aktuar:
Prof. Dr. **P. Niggli.**	Dr. **F. de Quervain.**

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.

Über das Verhalten der Bausteine gegenüber den atmosphärischen Einwirkungen sind in der Schweiz wohl zahlreiche Beobachtungen gemacht und teilweise veröffentlicht worden, doch fehlt eine zusammenfassendere Darstellung von systematischen Studien. Die Beobachtungen in Zürich zeigten rasch, daß die in einigen größeren Werken (siehe Literaturverzeichnis) niedergelegten Untersuchungen über den Verwitterungsablauf in andern Ländern sich nur sehr bedingt auf unsere Verhältnisse übertragen lassen. Es wurde deshalb seit mehreren Jahren mit dem möglichst vorurteilslosen Studium des Verhaltens der Bausteine in Stadt und Land begonnen. Der vorliegende erste Teil enthält in der Hauptsache eine Zusammenfassung des Beobachtungsmaterials, die im Gange befindlichen chemischen und physikalischen Untersuchungen und Laboratoriumsversuche werden in einem zweiten Teil veröffentlicht. Die Beobachtungen wurden absichtlich an den verschiedenartigsten Bauobjekten des Hoch- und Tiefbaues, auch solchen unbedeutendster Art, sowie an Bildwerken gemacht. Die Mehrzahl der Studien wurden in Zürich ausgeführt, ergänzende Einzelbeobachtungen stammen aus vielen andern größern und kleinern Ortschaften der ganzen Schweiz. Die besonders typischen Erscheinungen wurden photographisch aufgenommen; im ganzen liegen mehrere hundert Aufnahmen vor. Eine kleine Auswahl davon liefert Einzelbeispiele für die zusammenfassende Textbeschreibung. Mit wenigen besonders bezeichneten Ausnahmen stammen die Aufnahmen vom Verfasser. Es liegt in der Natur der Sache, daß die Beobachtungen größtenteils an Bauobjekten früherer Jahrzehnte bis Jahrhunderte gemacht werden mußten. Diese Objekte weisen natürlich meist Formgebungen auf, wie sie heute an Neubauten nicht mehr angewandt werden. Man wird indessen meist ohne große Schwierigkeit auf analoges Verhalten der heutigen Bauformen und Steinanwendungen schließen können. Das Ziel der Untersuchungen besteht im Studium des Verhaltens der Natursteine; zu Vergleichszwecken werden auch einzelne Beobachtungen von Verwitterungsanzeichen an Kunststein, Beton und keramischen Produkten mitgeteilt, die im Prinzip den Gesteinen gleich sind. Über das Verhalten von mit Schutzmitteln behandelten Gesteinen liegen keine Beobachtungen vor. Im folgenden sind auch Gesteine eingehender behandelt, die in der letzten Zeit nur wenig mehr verwendet wurden, die aber früher eine große Bedeutung hatten, so daß noch zahllose größere und kleinere Bauten aus diesem Material bestehen und somit dessen Verhalten bei Restaurationsarbeiten wichtig ist. Eine systematische geologisch-petrographisch-technische Beschreibung unserer verschiedenen Bausteine aus dem Mittelland, dem Jura und den Alpen kann hier nicht erfolgen, es sei auf den Bausteinband und die nutzbaren Gesteine der Schweiz verwiesen (**10, 12**).

Die Ausführungen wollen dahin wirken, daß das Verständnis für die richtige Steinauswahl und -verwendung, je nach Bauobjekt, Bereich am Bauwerk und Standort (Stadt oder Land) gefördert wird. Auch Gesteinsarten, die unter gewissen Einflüssen angreifbar sind, sonst aber gute Eigenschaften besitzen, haben ihre Gebiete in denen sie völlig zweckentsprechend angewendet werden können. So werden Beispiele zeigen, wie ein nach allgemeinem Urteil weniger beständiges Gestein, bei seiner Beschaffenheit entsprechender Verwendung, nach mehr als hundert Jahren noch keine nennenswerten Verwitterungsanzeichen aufzuweisen braucht.

Im weitern soll auch nicht jede Veränderung durch atmosphärische Einwirkungen als Nachteil betrachtet werden. Die Altersverfärbungen verleihen einem Steinbild- oder -bauwerk oft eine Wirkung, wie sie der neue Stein nicht aufweist und noch viel weniger steinartige künstliche Produkte (auch nicht mit dem Alter) erlangen können. Ein leichtes Absanden kann scharfe Konturen mildern, ein Ausarbeiten der Gesteinsstruktur eine Fläche beleben. In vielen Fällen verleihen die unter Feuchtigkeitseinflüssen sich auf den meisten Gesteinen von selbst einstellenden niedern Pflanzen einem Bauobjekt etwas Naturverbundenes, ganz abgesehen davon, daß eine Vegetation, wie nachstehend vielfach

belegt werden wird, für den Stein günstig ist. Der Steinliebhaber bedauert es auch, wenn, wie dies in letzter Zeit mehrfach geschah, ältere bildhauerische Arbeiten (Brunnen, Monumente) mit einiger, mehr zur lebendigen Wirkung beitragender, als störender Anwitterung, beseitigt oder durch Kopien verfrüht ersetzt werden.

Der Geotechnischen Kommission und besonders ihrem Präsidenten Herrn Prof. P. Niggli sei für Unterstützung und Aufnahme der Arbeit in die Beiträge bestens gedankt. Mein Dank geht auch an die Herren Prof. M. Roš, Direktionspräsident, und Prof. P. Schläpfer, Direktor der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, für ihr Interesse an den Untersuchungen.

1. Kurze Übersicht des Bausteinverwitterungsvorganges.

Die Gesteinsverwitterung umfaßt alle Veränderungen und Zerstörungen, die durch direkte oder indirekte atmosphärische Einflüsse, die Oberflächenwässer, inklusive die künstlich in die Luft und Gewässer gebrachten Stoffe (Rauchgase, Ruß), ferner durch Pflanzen und Tiere verursacht werden. Das Studium der Verwitterungsfragen, vor allem die Beurteilung der Verhaltens von Gesteinen oder Bauteilen, ist nicht einfach. Dies hat folgende Hauptursachen:

a) Die große Mannigfaltigkeit in der Beschaffenheit der Gesteine selbst im kleinsten Bereich (innerhalb eines Vorkommens bzw. Steinbruches, Fig. 2).

b) Die überaus verwickelten Vorgänge beim Verwitterungsablauf. An diesem beteiligen sich eine große Zahl von chemischen und physikalischen Einwirkungen, die weder in ihrer Einzel-, geschweige denn in der Gesamtwirkung genauer (vor allem nicht zahlenmäßig) erfaßbar sind.

c) Die großen klimatischen Unterschiede nach Landesteilen, Höhenstufen, städtischen und ländlichen Verhältnissen, ja sogar in kleinstem Bereiche, selbst an einem Bauwerke je nach Lage gegenüber der vorherrschenden Windrichtung, Sonne, Regen, benachbarten raucherzeugenden Anlagen usw.

d) Die Unterschiede in den Wasserzirkulationsverhältnissen des Bodens (Höhe des Grundwasserspiegels, Bodenfeuchte).

e) Die Unmöglichkeit, Experimente oder Prüfungen durchzuführen, die den natürlichen Verhältnissen ganz entsprechen, während die genaue schrittweise Verfolgung der Verwitterung am Bauwerk meist viel zu lange dauert.

Nachstehend wird nur eine ganz kurze Uebersicht der Einwirkungen und der sich beim Verwitterungsablauf abspielenden allgemeinen Reaktionen gegeben. Eine eingehendere Diskussion einiger Punkte wird im Teil II erfolgen.

Übersicht über die für die Bausteinverwitterung in Betracht kommenden Einwirkungen und Reaktionen.

1. Ohne Mitwirkung von Feuchtigkeit.

a) Temperaturschwankungen. Die Lufttemperatur, die sich auf die äußerste Gesteinspartie übertragen kann, schwankt im Mittelland von rd. -20^0 bis $+35^0$. Die Sonnenstrahlung kann die Gesteinstemperatur bis etwa 50^0, bei dunkeln Dachschiefern bis gegen 70^0 erhöhen. Die Bedeutung der Temperaturschwankungen ohne Mitwirkung von Feuchtigkeit ist bei den meisten Gesteinen beschränkt. Die ungleichen Wärmeausdehnungen von Mineral zu Mineral bei mehrmineralischen Gesteinen, oder innerhalb verschiedenen Richtungen bei einer Mineralart führen in unserem Klima jedenfalls nur selten, und nur bei grobkörnigen Gesteinen zu Zerstörungen, am ehesten bei groben Marmoren wegen der relativ großen und zudem mit der Richtung stark wechselnden thermischen Ausdehnung bei Kalk-

spat. Eine Schalenbildung durch Ausdehnungsdifferenzen zwischen der äußersten, dem täglichen Temperaturgang ausgesetzten Gesteinshaut und dem Gesteinsinnern mit konstanteren Temperaturverhältnissen (in heißem Klima häufig) kann möglicherweise bei uns in Einzelfällen auftreten.

b) W i n d i n V e r b i n d u n g m i t a u f g e w i r b e l t e n f e s t e n T e i l e n. Aufgewirbelte Sandkörner erzeugen lokal eine gewisse Glättung oder Ausschleifung von weichern Gesteinen an Stellen mit regelmäßiger starker Luftbewegung (z. B. in Türmen). Im Vergleich mit andern Einwirkungen sind solche Zerstörungen natürlich sehr geringfügig. Durch die Luft verfrachteter Ruß und Feinstaub erzeugen Verfärbungen und Verschmutzungen von Fassaden und Monumenten, besonders in Städten.

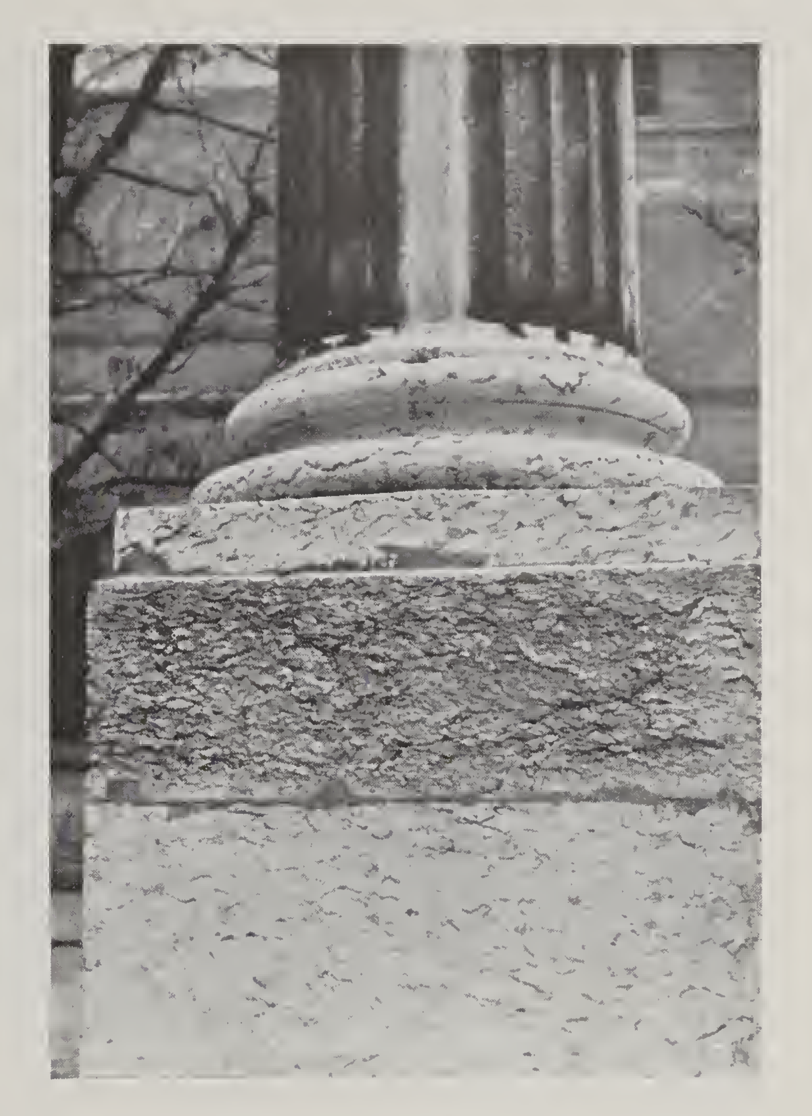


Fig. 2. Verschiedene Intensität der Anwitterung bei Steinen des gleichen Vorkommens. Brunnen am Münsterplatz, Basel. Alter 140 Jahre. Jetzt erneuert. Kalkstein von Solothurn.

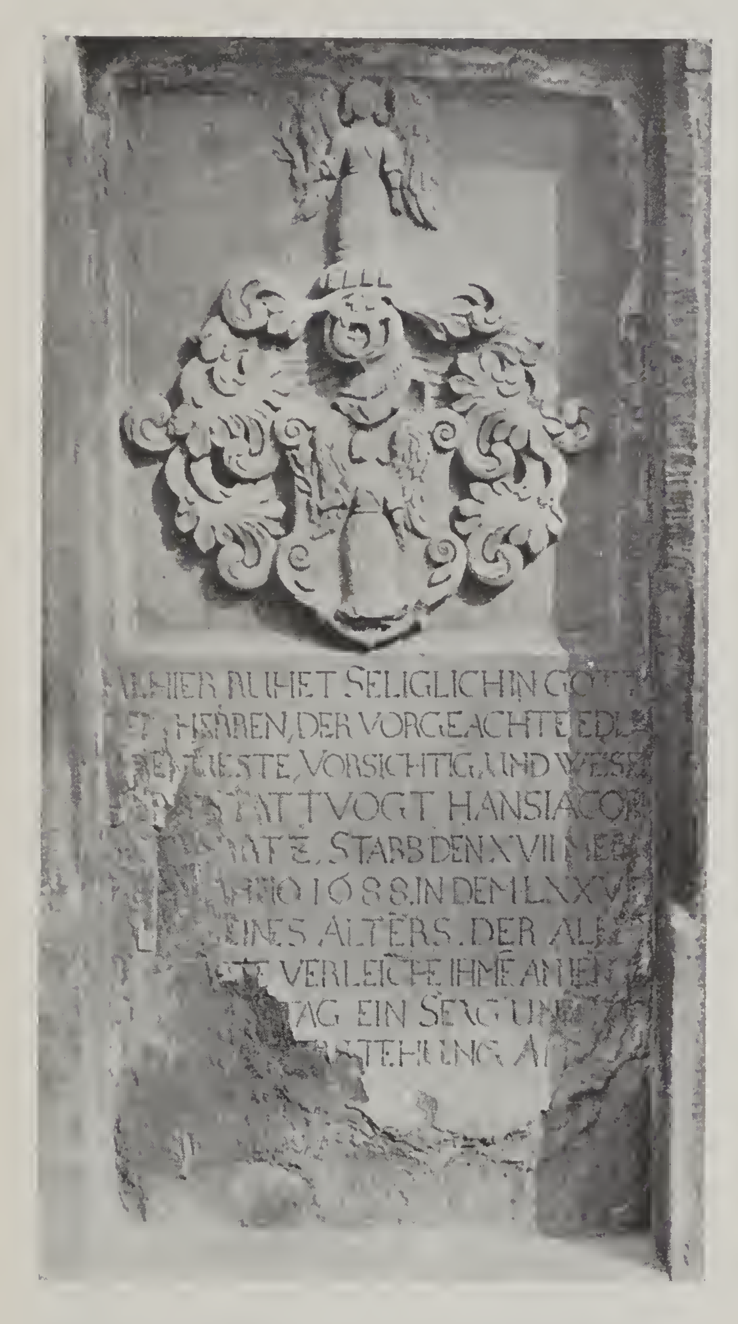


Fig. 1. Die mehr als 250 Jahre alte Platte aus einem geschieferten, kalkreichen Sandstein (Flysch) zeigt Abblätterungen im Bereiche der Grundfeuchte, ist aber sonst großenteils bis in feinste Details gut erhalten. Scalettafriedhof, Chur.

c) T r o c k e n e c h e m i s c h e E i n w i r k u n g e n. Ohne Beteiligung von Wasser wirken CO_2. O_2, aber auch SO_2 oder SO_3, gar nicht oder dann nur langsam und bei hoher Konzentration auf Gesteine ein. Praktisch ist eine wasserfreie Atmosphäre im Freien in unserm Klima kaum je verwirklicht. Trockene Reaktionen sind am ehesten noch Oxydationen von organischen Partikeln in Gesteinen (wohl beschleunigt durch Wirkung des Lichtes), wodurch Verfärbungen entstehen.

2. Mit Beteiligung von Wasser (gasförmig, flüssig, fest).

d) F e u c h t i g k e i t a u s L u f t u n d B o d e n. Der Feuchtigkeit kommt eine Hauptbedeutung für die Gesteinsverwitterung zu. Sie hält die schädlichen Säuren und Salze fest und verschiebt sie durch ihr Wandern je nach Temperatur- und Sättigungsverhältnissen im Gestein. Bei Gesteinen mit erweichbarem pelitischem Bindemittel erzeugt sie Quellungs- und Schwindungserscheinungen und damit zusammenhängende Rißbildungen und natürlich ist sie die Vorbedingung für die Frosteinwirkungen.



Fig. 3. Die regelmäßig von Regen getroffene Partie ist intakt, der Grenzbereich gegen den trocken bleibenden Bauteil sandet ab. Granitische Molasse. Fraumünster, Zürich. Alter etwa 40 Jahre.

e) Direkter Regenfall. Regelmäßige, direkte Regenbenetzung ist für einen Bauteil im allgemeinen günstig, sie verhindert die Anreicherung von schädlichen leichtlöslichen Salzen (Fig. 3 u. a.). Es gibt aber auch Fälle, bei denen Salze oder Säuren durch Regen ins Gesteinsinnere verfrachtet werden und hier in unerwünschtem Sinne wirken. Demgegenüber verschwindet die zerstörende Regenkorrosion durch Ausschwemmung pelitischer Bindemittelsubstanzen bei Sandsteinen oder die Auflösung kalkiger Partikel. Windgetriebener Regen (Schlagregen) hat eine recht große Bedeutung, indem dadurch Wasser Bauteile erreicht, die selten befeuchtet werden. Indirekt ist der Regen als allgemeiner Feuchtigkeitslieferant natürlich vorwiegend schädlich.

f) Frost. Die gesteinszerstörende Wirkung des gefrierenden Wassers mit seiner Volumenvermehrung und der damit zusammenhängenden Druckzunahme in geschlossenem Raum ist allbekannt und nimmt außerhalb von Städten unter den Verwitterungsursachen die erste Stelle ein. Im einzelnen ist die Frostbeanspruchung bei den komplexen Porositäts- und Sättigungsverhältnissen der Gesteine sehr kompliziert und nur unter stark vereinfachenden Annahmen einer exakten Behandlung zugängig. Frostgefährdet sind alle Gesteine, deren Poren sich weitgehend mit Wasser tränken können, besonders schädlich sind ein Porennetz bildende Mikroporen, wie sie vor allem in Gesteinen oder Gesteinspartien mit erweichbarem pelitischem Anteil auftreten. Eingehend ist die Frostwirkung in 4 behandelt. Auffallende Frostschäden an Gesteinen werden in der Hauptsache durch relativ wenige Einwirkungen erzeugt, oder anders ausgedrückt: bei gegebener, d. h. für das Objekt normaler Porenfüllung und bestimmten Abkühlungsgeschwindigkeiten (wie sie z. B. unserm Klima entsprechen) wird ein Gestein entweder rasch oder dann gar nicht zerstört. Wenn natürlich außergewöhnliche Kältegrade, eine anormal rasche Temperaturerniedrigung im Gestein erzeugend, mit besonders intensiver Wasserfüllung der Poren zusammenfallen, kann ein Gestein, das jahrzehntelang unter normalen Verhältnissen keine Einwirkungen zeigte, noch angegriffen werden. Diese durch Beobachtungen an unsern Gesteinen gewonnene Auffassung steht allerdings im Gegensatz zu verschiedenen andern z. B. derjenigen Kieslingers, der die Frostwirkungen mit Dauerbrüchen vergleicht.

Fig. 4. Unter der Fichte ist der Stein vegetationsfrei und wittert an, im beregneten Teil ist die Mauer stark bewachsen (Flechten, Moose, auch Blütenpflanzen) und intakt. Granitische Molasse. Zürich.

g) Chemische Einwirkungen der normalen Bestandteile der Atmosphäre. In Verbindung mit Feuchtigkeit wirken Sauerstoff und Kohlendioxyd durch Oxydationen von Sulfiden und kohligen Teilen und durch Beschleunigung der Auflösung von Karbonaten. Weit wesentlicher sind die Einwirkungen des Oxydationsproduktes des Schwefels, der Schwefelsäure (siehe unten).

h) Chemische Einwirkungen der Rauchgase. Die Beschleunigung der Verwitterung der Bauwerke in

größeren Städten in den letzten 100 Jahren ist auf die durch die Kohlenfeuerung erzeugten Rauchgase zurückzuführen. Unter den Rauchgasen ist vor allem schädlich das Schwefeldioxyd, das sich nach allgemeiner Auffassung rasch weiter zu Schwefelsäure oxydiert. Diese wirkt intensiv auflösend und zersetzend auf viele Gesteinsmineralien, am stärksten auf Karbonate. Die weite Verbreitung der



Fig. 5. Die aufsteigende Grundfeuchte und die durch sie verursachten Schäden sind besonders auffällig an Verputz. S. Cassian bei Lenz.

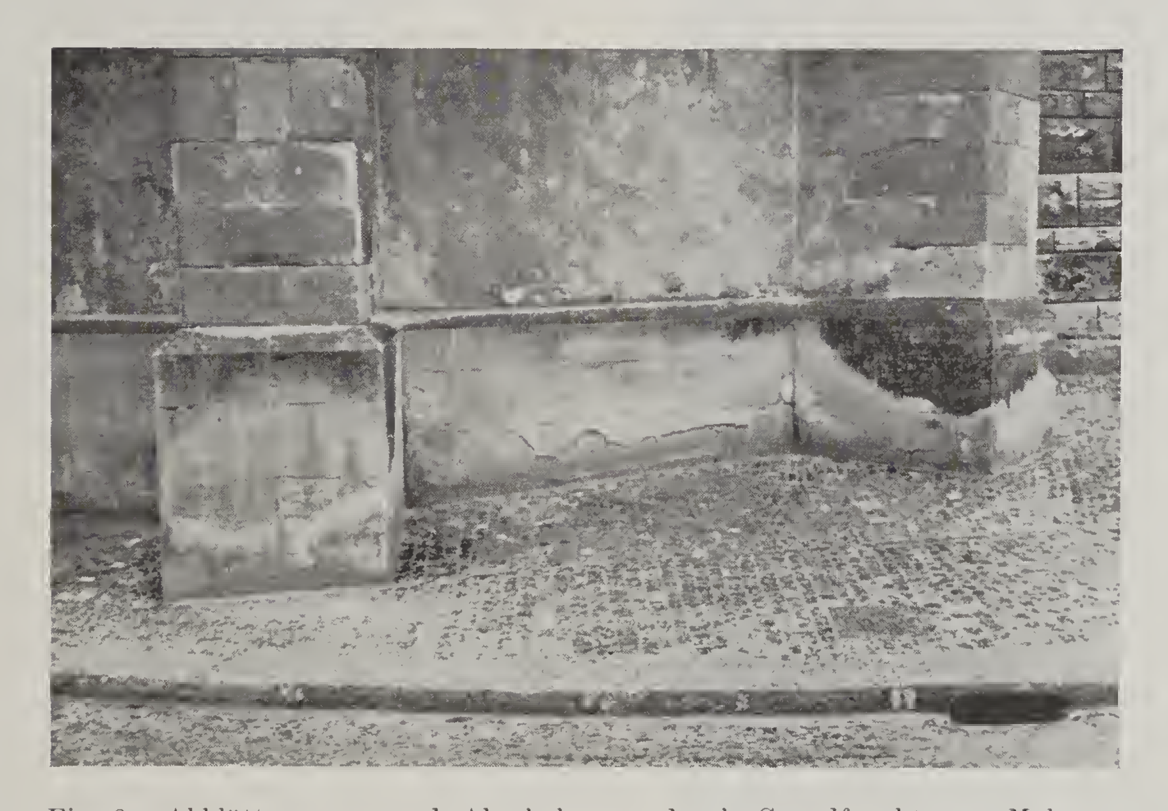


Fig. 6. Abblätterungen und Abschalungen durch Grundfeuchte an Molassesandstein. Die Partien im Grundfeuchtebereich sind vegetationslos (Sulfatanreicherungen). Da wo die Beregnung die Oberhand gewinnt, sind die Steine unverwittert und stark bewachsen. St. Johann, Schaffhausen. Alter vermutlich 60 Jahre.

Gipskrusten und der Sulfatausblühungen auf Gesteinen in Städten weist deutlich auf ihre große Bedeutung hin.

i) Physikalische Einwirkungen von leichtlöslichen Salzen. Stärkere Konzentrationen von leichtlöslichen Salzen können sehr starke physikalische Zerstörungen an Natur-, Kunststeinen und Keramik bewirken. An Bauwerken findet man weitverbreitet Sulfate von Magnesium und Natrium, beide von sehr schädlicher Wirkung. Oft ist auch Kochsalz zu konstatieren (vom Salzstreuen zum

Schmelzen des Eises im Winter herrührend), auch dieses ist steinschädlich. Verschiedene andere Salze mögen lokal einwirken (Kaliumsulfat, Salpeter u. a.), gegenüber den genannten sind sie ohne große Bedeutung. Näheres über Auftreten und Auswirkungen der löslichen Salze siehe S. 26.

k) Einwirkungen von Pflanzen. Die niedern Pflanzen, welche direkt den Stein besiedeln, wirken unzweifelhaft günstig auf ihn ein, während bloß regenabwehrende Pflanzen als schädlich bezeichnet werden müssen (u. a. Fig. 4, weiteres S. 32).

l) Einwirkungen von Tieren. Unter den tierischen Einwirkungen auf Gestein kommt der Taubenmist in Betracht, der an reichgegliederten Bauwerken, die von den Tauben bevorzugt werden, mehrere Zentimeter mächtige Ablagerungen bilden kann und dann, abgesehen von der Beschmutzung, als Feuchtigkeitsträger von Bedeutung ist. Offensichtlich trägt auch eine oft wiederholte Harnbenetzung durch Hunde zur Dunkelfärbung von Sockelsteinen und auch zu eigentlicher Gesteinsschädigung bei (siehe S. 34).

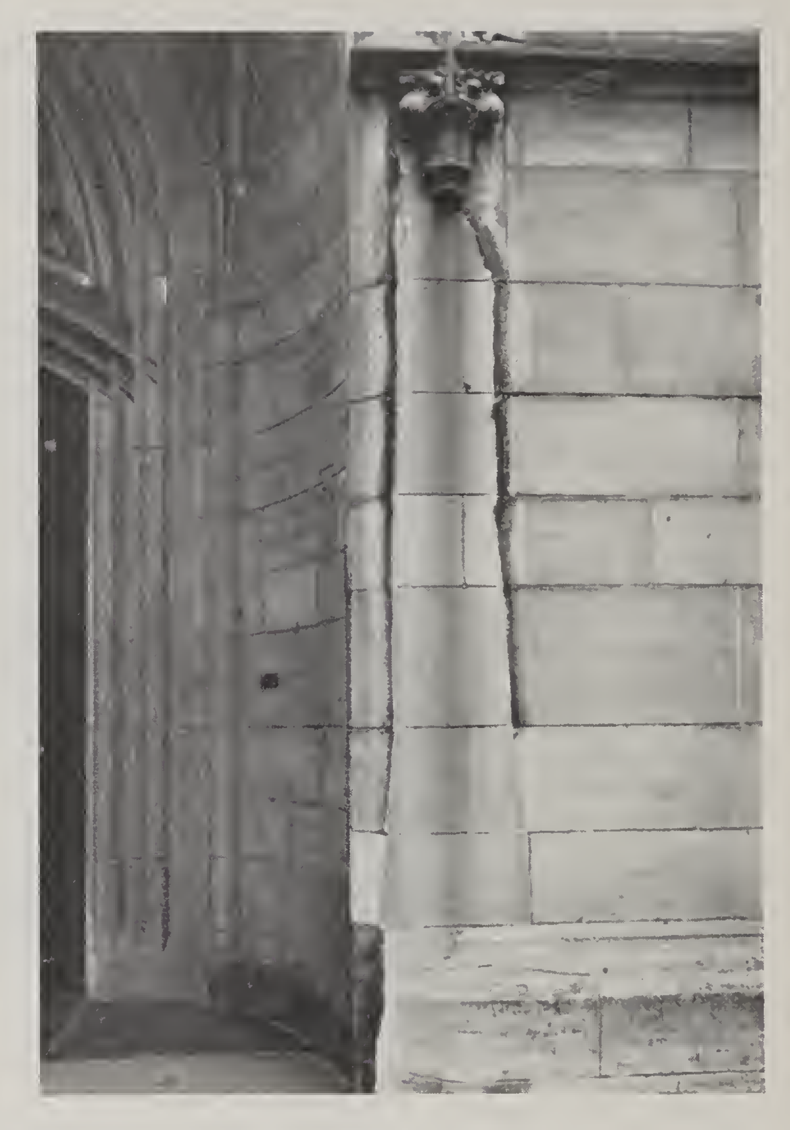


Fig. 8. Gipskrusten auf beiden Seiten der ebenfalls etwas dunkleren Wassersickerstelle. Unter der Gipskruste Lockerung des Sandsteins. Granitische Molasse. Westfassade Fraumünster Zürich. Alter etwa 25 Jahre. Kruste jetzt enfernt.

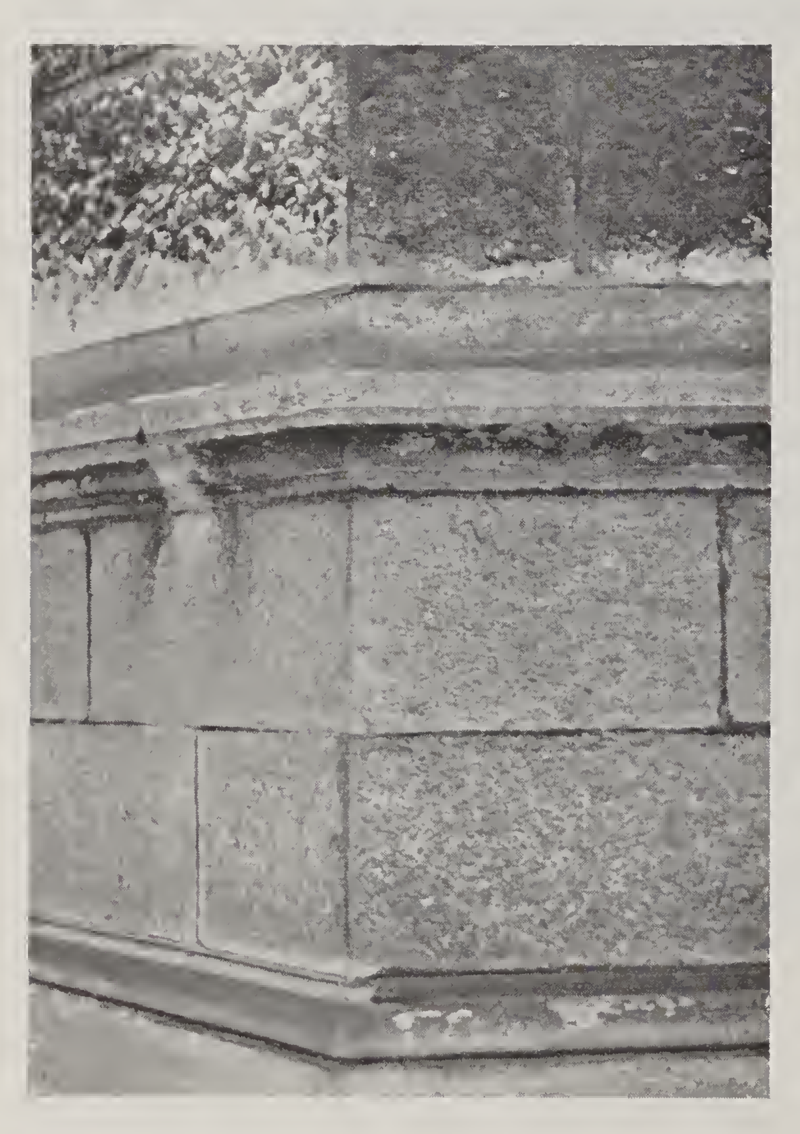


Fig. 7. Gesteinslockerung (unter Gipskruste) auf der Unterseite eines Gesimses aus Leventinagranitgneis. An der Fuge, wo Wasser durchsickert, ist der Stein intakt und ohne Kruste. Der Rundstab unten zeigt geringe Sockelschalenbildung unter geschwärzter Oberfläche. Oben Hochmauer aus Jurakalkstein (mit dünnen Gipskrusten). Landesmuseum Zürich. Alter 50 Jahre.

Wie diese Übersicht zeigt, wird in Städten und industriereichen Orten der Schwefelsäure direkt und indirekt der Hauptanteil an der Gesteinsverwitterung zugeschrieben, während der Frost erst in zweite Linie tritt. Als weniger wichtig werden die übrigen Einwirkungen beurteilt, wobei nicht gesagt ist, daß sie nicht in Einzelfällen am stärksten hervortreten können. Auf dem Lande tritt der Frost dagegen unbedingt vor die Sulfatzerstörung, wie natürlich auch in der Felsverwitterung. Selbstverständlich treten in zahlreichen Fällen (vielleicht in der Mehrzahl) verschiedene Einwirkungen kombiniert auf. Es mag im folgenden in zahlreichen Fällen zur Gewinnung der Übersicht zu viel Gewicht auf eine augenscheinliche Einwirkung im Beobachtungszeitpunkt gelegt worden sein.

2. Die wichtigsten Zerstörungsbereiche an Bauwerken.

Gesteinszerstörungen können vereinzelt an allen irgendwie dem Einflusse der Atmosphärilien ausgesetzten Bauteilen beobachtet werden; sie häufen sich aber doch sehr auffällig an bestimmten Stellen eines Bauwerkes oder Bauteiles, beziehungsweise sie treten an diesen Stellen rascher auf. Natürlich ist dies relativ zum verwendeten Material zu verstehen. Ein an sich den verwitterungsfördernden Einflüssen ausgesetzter Bauteil aus einem sehr wetterfesten Gestein (z. B. einem guten Tessiner Gneis) wird oft doch erst viel später Verwitterungsanzeichen aufweisen, als ein weniger angreifbarer Bauteil aus einem unbeständigeren Material (z. B. aus mariner Molasse).

Die einer Verwitterung ganz allgemein besonders ausgesetzten Bauteile sind:



Fig. 9.

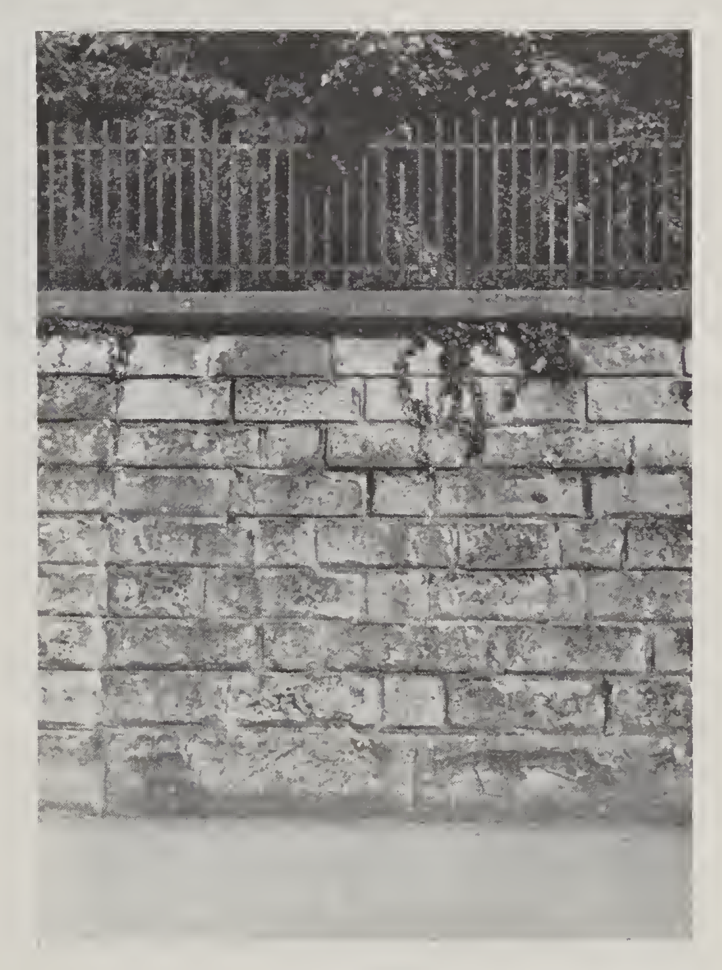


Fig. 10.

Fig. 9 und 10. Unterschied im Erhaltungszustand einer Stützmauer je nach Möglichkeit der Regenbenetzung. Fig. 9 unter der Abdeckung absandend (z. T. mit Gipskrusten), sonst stark bewachsen und unverwittert. War ständig gut beregnet. Fig. 10 (wenige Meter entfernt) Mauerteil im „Schutze“ eines dichten Tannenwuchses. Die Quader sind stark zurückgewittert. Granitische Molasse. Zürich. Alter 40—50 Jahre.

a) Bereich der Grundfeuchte.

Die Zerstörungen im Zusammenhang mit aufsteigender Grundfeuchte (Fig. 1, 5, 6 und andere) sind heute im allgemeinen seltener zu beobachten als früher, da wenigstens bei wichtigeren Bauten eine Absperrung der Grundfeuchte durchgeführt wird, oder falls dies nicht möglich ist, Maßnahmen zur Trockenlegung des Mauerwerkes getroffen werden. Dazu tritt allgemeiner die Verwendung von widerstandsfähigeren Materialien für die Außenverkleidung der Gebäudesockel. Immerhin sind die Schäden auch heute noch bei weitem nicht vollständig verschwunden, auch bei allerneusten Bauten nicht. Die Intensität des Grundfeuchteaufstieges hängt natürlich ab vom Material des Untergrundes, dessen Wasseraufsaugefähigkeit und Durchlässigkeit, den klimatischen Verhältnissen, der Höhe des Grundwasserspiegels. Die Höhe des Aufsteigens der Feuchtigkeit in den Außenmauern variiert nach deren Beschaffenheit, der Jahreszeit, der Feuchtigkeit der Luft usw. Eine Isolierung, die nur nach

außen, nicht aber nach unten absperrt, läßt die Feuchtigkeit nur höher steigen, da sie nicht verdunsten kann. Im allgemeinen kann bei uns der Feuchtigkeitsbereich an Hochmauern etwa 0,5—2 m über den Boden reichen, selten höher. Am intensivsten pflegt meist die Zerstörung in der obern Randzone der Durchfeuchtung zu sein. Die Grundfeuchteschäden sind allgemeiner und stärker an Stellen, die nicht regelmäßigerem direktem Regenfall ausgesetzt sind (Fig. 63, 64). Stützmauern im Freien (mit Anzug), sowie freistehende Steine (Monumente, Brunnen) unterliegen der Abwitterung im Grundfeuchtebereich meist weniger als Hochmauern an Gebäuden, besonders auf der regenabgewendeten Seite. Ausnahmen bilden natürlich Stellen im Freien mit außergewöhnlichem Wasserzufluß auch in der Frostperiode, was normalerweise nur bei Tiefbauten vorkommt. Öfters wird der widerstandsfähige Sockelstein an Gebäudemauern zu wenig hoch gewählt, so daß im darüber liegenden, weniger widerstandsfähigen Material noch Schäden auftreten.



Fig. 11. Die bei normaler Regenbefeuchtung trocken bleibende Partie des Pfostens ist gegenüber den naß werdenden Teilen parabelförmig begrenzt und zeigt Gipskrusten und Absandungen. Granitische Molasse. Zürich.

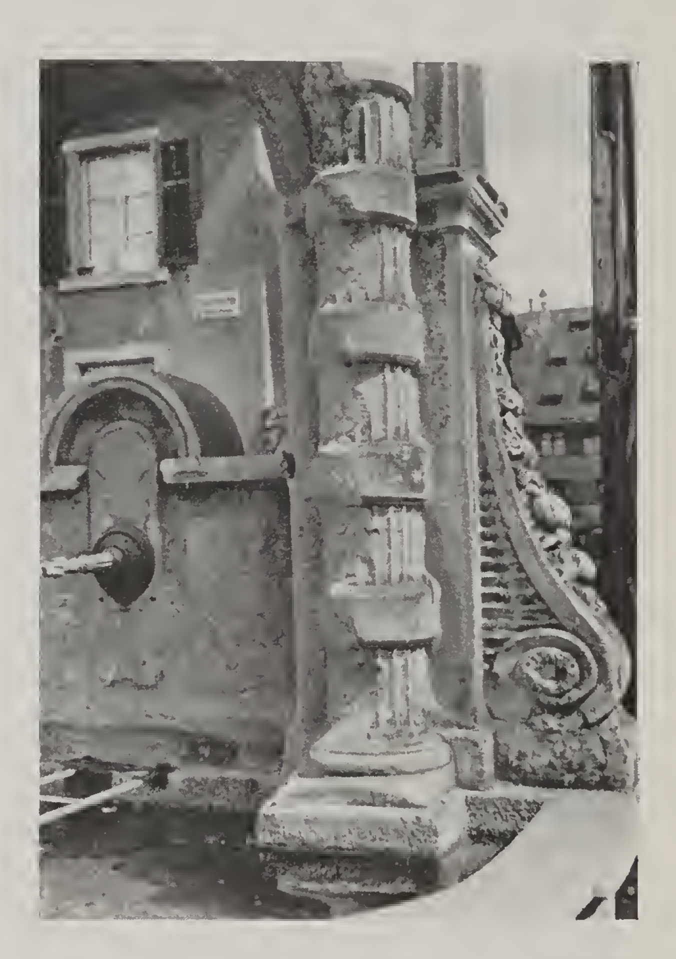


Fig. 12. Ganz einseitige, starke Absandung an Berner Sandstein (Grenzbereich zwischen beregnetem und trocken bleibendem Teil der Säule). Schaffhausen. Alter 75 Jahre. Jetzt entfernt.

b) Unterseite von vorspringenden Bauteilen.

Die relativ rasche Verwitterung der Unterseite von vorspringenden Bauteilen aller Art, sowie der Partie, die von den Vorsprüngen „geschützt“ wird, ist ganz allgemein zu beobachten. Fast immer treten hier in Städten die Verwitterungserscheinungen zusammen mit der Gipskrustenbildung oder mit Sulfatausblühungen auf. Besonders gefährdet sind die Unterseiten von Gesimsen, Fensterbänken, Balkonen und die nicht beregneten Teile von Plastiken, Dekorationen aller Art. Auch allgemein widerstandsfähige Gesteine, wie Leventina- und Verzascagneise, Aaregranite unterliegen auf der Unterseite von Gesimsen in Städten mit der Zeit einer gewissen oberflächlichen Lockerung. In dieser Beziehung sind Kalksteine oft sehr widerstandsfähig. Bei ganz freistehenden Objekten (Pfosten) wird jedoch oft auch die Unterseite der vorspringenden Dachpartie so reichlich von Wasser überflossen, daß die schädlichen Sulfate weggeschwemmt werden und sich erst an tiefern Teilen der Pfosten festsetzen können, so daß eine Einwirkung erst hier eintritt. Siehe hierzu die Figuren 7, 80.

c) Bauobjekte unter Bäumen.

Das gleiche wie für vorspringende Architekturteile gilt auch für den „Schutz“ von Bäumen, und zwar besonders für die das ganze Jahr regenabwehrenden Nadelhölzer. An vielen Mauerpartien, die teilweise von Tannen überdeckt werden, beobachtet man die hier weit intensiveren Zerstörungen (Abblätterungen und Absandungen) gegenüber den Stellen unmittelbar daneben, ohne Bedeckung. Meist fallen die regengeschützten Partien schon von weitem durch die helle Färbung der absandenden Steine auf, gegenüber den durch Vegetationsbewachsung dunklen Tönungen der beregneten. Auch nach Beseitigung der Bäume sind die Unterschiede noch jahrelang feststellbar (Fig. 4, 9, 10).



Fig. 13. Einsetzen der Verwitterung (Absandung) in granitischer Molasse unmittelbar über dem Sockelstein, aus wenig porigem Aaregranit. Die absandende Partie zeigt starke Durchsetzung mit Natriumsulfat. Universität Zürich. Alter 33 Jahre.

d) Bereich seitlich von Wasserablauf- und Sickerstellen (Fig. 3, 8, 11, 12 u. a.).

Eine sehr charakteristische, zur Verwitterung neigende Zone tritt im Grenzbereich der Durchfeuchtung auf, die durch Wasserablauf von höheren Bauteilen erzeugt wird. Selbstverständlich tritt die Erscheinung nur an Partien auf, die regelmäßig als Sicker- oder Ablaufstellen fungieren. Recht auffallend sind diese Verwitterungsbereiche bisweilen dadurch, daß sie nach oben oder nach unten parabelförmig begrenzt sind, als genaues Abbild der oft ebenfalls eine Parabel bildenden durchfeuchteten Bereiche. Besonders an freistehenden Pfosten sind diese Parabeln schön zu sehen (Fig. 11). In der Mehrzahl der Fälle ist die Erscheinung infolge der sehr ungleichen Durchfeuchtung je nach Regenmenge, Windrichtung, Niederschlagsdauer sehr verwischt. Auch hier sind die Verwitterungserscheinungen sehr oft mit einer Gipskrustenbildung verknüpft. Auch leicht lösliche Sulfate beobachtet man als Ausblühungen nach Trockenperioden an diesen Stellen. Die Sicker- und Wasserablaufstellen selbst zeigen weit geringere Neigung zur Verwitterung; bei dafür geeignetem Gestein (granitische Molasse) kann mit der Zeit eine Schalenbildung auftreten. In der Regel sind aber diese Stellen noch ganz intakt, während die Partien seitlich schon tiefe Aushöhlungen erfahren haben. Meist siedeln sich Algen oder Flechten an den Wasserablaufstellen an, diese dunkel färbend.



Fig. 14. Starkes Absanden oberhalb Sockelstein aus widerstandsfähigem Material, hier z. T. begünstigt durch häufiges Waschen der Treppe mit Na˙-haltigen Waschmitteln, evtl. auch durch Salzstreuen. Bahnhof St. Gallen. Alter etwa 30 Jahre.

e) Grenzzone zweier Materialien verschiedener Durchlässigkeit (Fig. 13, 46, 47).

Ein poröseres und leichter angreifbares Gestein (z. B. Molassesandstein) weist vielfach unmittelbar über (unter Umständen auch neben) einem weniger durchlässigen Material (z. B. Granit oder Kalkstein) eine schmale Verwitterungszone auf, verursacht durch Wasserstauung, verbunden mit Sulfatanreicherung. Diese Erscheinung kann an glatten Wänden aus verschiedenartigem Gestein recht auffällig werden. Es ist deshalb prinzipiell richtiger, Mauern aus gleichartigen Gesteinen, zumindest aus Gesteinen mit nahestehender Durchlässigkeit aufzuführen. Auch der Fugenmörtel sollte in der Durchlässigkeit dem Gestein angepaßt werden, da er gleiche Erscheinungen erzeugen kann. Je homogener eine Mauer als Ganzes ist, je mehr sie also einer natürlichen Felswand nahekommt, desto beständiger wird sie im Vergleich mit einer sehr heterogenen Mauer sein. Die Inhomogenitäten durch die Fugenbildung scheinen offenbar auch die Schalenbildungen bei Molassesandsteinen zu begünstigen. Tatsächlich weisen Mauerungen aus außergewöhnlich großen Quadern weniger Neigung zur Abschalung auf als solche aus kleinformatigen Steinen.



Fig. 15. Rostsprengung an Einfriedigung aus Beton.

f) Wechsel der Mauerneigung.

Vielfach weist eine senkrechte Mauerpartie unmittelbar über einem abgeschrägten (z. B. bei Verzierungen, Rundstäben) oder horizontalen Architekturteil (Fensterbank, Gesimse) eine stärker angegriffene Zone auf, und zwar auch ohne Gesteinswechsel. In ähnlicher Weise wie unter e) tritt hier eine Wasserstauung ein und damit einerseits eine Sulfatanreicherung, anderseits im Winter eine Frostgefährdung.

g) Bereiche um rostendes Eisen.

Obwohl mit der Verwitterung der Gesteine an sich nicht zusammenhängend, seien hier wegen der großen Verbreitung doch auch die Gesteinssprengungen erwähnt, die man um, in den Stein eingelassene, rostende Eisenteile beobachtet. Auch die festesten Gesteine (es ist wohl die Zugfestigkeit maßgebend) erliegen mit der Zeit (in etwa 10 bis 40 Jahren) in der üblichen Werkstückgröße den bei der Volumenvermehrung beim Übergang von Eisen in Eisenhydroxyde ausgelösten Beanspruchungen. Am häufigsten beobachtet man die hierbei auftretenden charakteristischen Rißbildungen (Fig. 15) an Sockelsteinen von eisernen Geländern oder Zäunen, oder Pfosten von Toren. Auch Beton und Kunststein werden natürlich auf gleiche Weise zersprengt.

h) Zerstörungsbereiche mit lokalbedingten Ursachen.

Sehr oft begegnet man erheblichen Verwitterungserscheinungen, die ganz lokalbedingt sind und vielfach nur bei sehr genauer Kenntnis des Bauwerkes abgeklärt werden können. Solche Bereiche können z. B. folgende Ursachen haben: Kondensation von Feuchtigkeit an kalten Mauern, Nachbarschaft von Kaminen (oder Bahnhöfen) mit starker Rauchgaserzeugung, Vorhandensein von steinschädlichen industriellen Gasen oder Abwässern der verschiedensten Art, winterliches Salzstreuen, starke Windexposition (in Verbindung mit aufgewirbeltem Sand), Tropfenfall usw. Auf diese Bereiche mit ihren unzähligen Variationen kann hier nicht eingegangen werden.

Zusammenfassend sei festgestellt, daß diejenigen Bereiche am Bauwerk in der Hauptsache zuerst angegriffen werden, an denen, ohne daß sie selbst regengetroffen sind, die Feuchtigkeit nach Nieder-

schlägen zurückbleibt und langsam verdunstet. Es sind dies die Stellen, an denen sich die leichtlöslichen Salze anreichern müssen. Im allgemeinen weisen die Wetterseiten eines Bauwerkes geringere Verwitterungsneigung auf als die wetterabgewendeten. Dies gilt jedoch nicht unbedingt für stark gegliederte Fassaden, wo die Regendurchnässung sich an vielen Stellen festsetzen kann. Eine weitere Einschränkung muß für Fassaden in rauchgasreichen Städten gemacht werden. Hier setzt, vor allem bei gewissen Molassesandsteinen, die charakteristische Schalenverwitterung auf der Wetterseite früher ein als auf einer sehr selten vom Schlagregen getroffenen Seite.

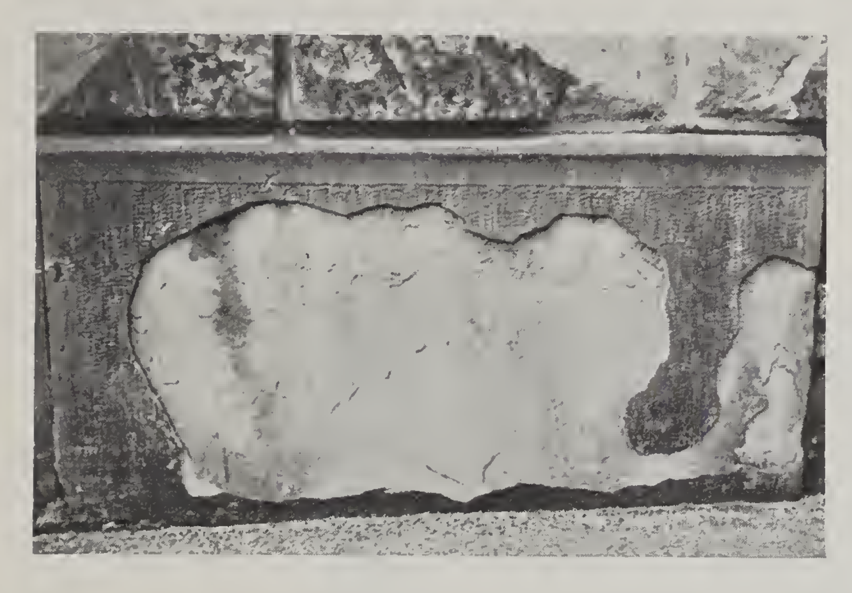


Fig. 16. Große Schalenbildung an Sockelstein einer Stützmauer. Granitische Molasse. Zürich. Alter etwa 50 Jahre.



Fig. 17. Gleiche Stelle, 8 Jahre später aufgenommen. Geringes Fortschreiten der Abschalung.

3. Die Formen der Gesteinsverwitterung.

Die Beobachtungen an den in Verwitterung begriffenen Bausteinen lassen, bei aller Mannigfaltigkeit, die Zerstörungen doch auf wenige charakteristische Formen zurückführen. Diese sind natürlich je nach Gesteinsart im einzelnen recht verschieden ausgebildet, und von unterschiedlicher Häufigkeit. Sie zeigen unter sich auch die mannigfaltigsten Übergänge, mehr als vielleicht aus den folgenden Beschreibungen hervorzugehen scheint. Zahlreiche Figurenbeispiele sollen indessen die gegenseitigen Beziehungen der Zerstörungsformen verdeutlichen.

a) Die Schalenbildung.

Die schalenförmige Abwitterung zeichnet sich dadurch aus, daß sich in einer Tiefe von weniger als 1 mm bis gegen 20 mm unter der scheinbar unveränderten Gesteinsoberfläche eine Lockerungszone ausbildet, die soweit fortschreitet, bis die äußere Gesteinspartie den Zusammenhang mit dem Gesteinsinnern verliert und leicht als kleinere oder größere Schale abgehoben werden kann, oder von selbst abfällt. Das Hauptmerkmal der echten Schalenbildung ist, daß sie sich auf allen Flächen eines Gesteins bilden kann, also auch senkrecht zu einer allfälligen Schichtung oder Schieferung. Man kann die durch primäre lagige Anreicherungen von eine Ablösung erleichternden Bestandteilen (wie z. B. Glimmer oder Mergel-Tonschichten) erzeugte Schalenbildung als unecht bezeichnen. Bei der echten Schalenbildung gibt es folgende zwei prinzipiell verschiedene Fälle:

1. Die äußere Gesteinspartie hat eine Stoffzufuhr aus der darunter liegenden Lockerungszone erhalten, sie hat also gegenüber dem ursprünglichen Gestein eine Verdichtung oder Vergrößerung erfahren. Diese Art der Schalenbildung wird auch als Rinden- (Schmölzer) oder Innenkrustenbildung (Kieslinger) bezeichnet. Man spricht auch von Diffusionsschalen. Es ist allerdings nicht in allen Fällen feststehend, daß ein der Lockerungszone offensichtlich entzogenes Material in der Schale wieder zur Abscheidung gelangte.

2. Die Lockerungszone besteht in einer bloßen Trennung oder Lockerung ohne sichere Stoffwegfuhr, dementsprechend hat auch die Schale keine Veränderung erfahren.

Die Schalenverwitterung wurde an folgenden bei uns verwendeten Gesteinen beobachtet:

Am häufigsten tritt sie bei den Molassegesteinen auf und unter diesen weitaus am verbreitetsten bei der granitischen Molasse. Diese bietet eines der besten Beispiele überhaupt für diese Zerstörungsform (Fig. 16, 17. 21—24 u. a.). Die marinen Plattensandsteine der subalpinen Zone sowie die Berner Sandsteine der flachen Molasse zeigen Schalenbildungen zwar auch (Fig. 31), doch ist sie nicht die herrschende Verwitterungsform. Vereinzelte typische Beispiele bieten die verschiedenen stampischen kalkreichen Sandsteine der subalpinen Zone (Fig. 59—62), sowie die Muschelkalksteine (Fig. 18). An den wenigen ältern an Hochbauten verwendeten Sandsteinen wurde die Schalenverwitterung schön am Schilfsandstein (Keuper) beobachtet (Fig. 67), während sie beim Buntsandstein der Basler Bauten weniger auffällig ist.



Fig. 18. Schalenbildung an Muschelkalkstein (selten), sowohl senkrecht (Pfosten) wie parallel zum Lager. Zürich.

Die kompakten, dichten, spätigen oder oolithischen Kalksteine aus Jura oder Alpen zeigen die Schalenbildung kaum, gelegentlich wird sie an porösen Kalken vom Typus Savonnières oder Hauterive beobachtet, doch weit seltener als bei Molassegesteinen.

Bei den kristallinen Gesteinen: Aaregraniten (Fig. 79), Tessiner Gneisen (Fig. 19) und Roffnagneisen sind verschiedentlich Beobachtungen über echte Schalenbildungen gemacht worden (unechte ist natürlich bei erheblich schieferigen kristallinen Gesteinen verbreitet), auch der Kalksilikatgneis von Castione zeigt bisweilen diese Verwitterungsform.

Die Schalenverwitterung tritt also bei uns ganz offensichtlich in erster Linie an stark porigen, klastischen Gesteinen auf, während sie bei Kalken und kristallinen Gesteinen zurücktritt. Darin zeigt sich eine Abweichung gegenüber den Verhältnissen wie sie z. B. in Wien vorliegen, wo die schönsten Schalenbildungen nach Grengg und Kieslinger an Graniten der böhmischen Masse beobachtet werden.

Auch an Beton (Fig. 20) und Kunststein kann man schöne Abschalungen beobachten. Die künstlichen Steinmaterialien sind allerdings häufig randlich (gewollt oder ungewollt) gegenüber dem Innern mehr oder weniger abweichend zusammengesetzt (Bindemittelgehalt, Korngröße der Zuschlagsstoffe), was den Vergleich mit Natursteinen erschwert. Überdies spielen hier unter Umständen noch Schwind- oder Treiberscheinungen mit. Das verbreitete schalenartige Abfallen von Verputz ist der Ursache nach sicher der Gesteinsabschalung verwandt, in der Ausbildung aber stark abweichend.

Die beobachteten Schalenbildungen lassen oft eine deutliche Volumenvermehrung durch Stoffzufuhr aus dem Gestein erkennen. In vielen Fällen muß dies aber bei den Feststellungen an Bauwerken, die man ja nur in den seltensten Fällen durch Laboratoriumsuntersuchungen ergänzen kann, ungewiß bleiben. Eine Gliederung in Schalen mit und ohne Stoffzufuhr ist deshalb praktisch nicht möglich. Es läßt sich indessen eine Einteilung nach einem äußerlich sichtbaren Merkmal vornehmen, dem offenbar auch genetische Bedeutung zukommt. Die Mehrzahl der Schalen, worunter alle großen, zeigen eine (meist intakte) Oberfläche mit normaler Anwitterungsfärbung des Gesteins. Eine charakteristische Gruppe von echten Schalen ist oberflächlich, unabhängig vom Gestein, immer geschwärzt (nicht zu verwechseln mit den schwarzen Gipskrusten). Wir bezeichnen die erstern als normale Schalen, die letzteren nach ihrem Auftreten (siehe unten) als Sockelschalen.

Die normalen Schalen.

Ausbildung. Die Lockerungszone bildet sich bei diesen Schalen in sehr unterschiedlicher Tiefe unter der Gesteinsoberfläche aus; in der großen Mehrzahl der Fälle zwischen 2 und 20 mm. Die Lockerungszone selbst wird maximal einige Millimeter breit. Die Schalendicke wechselt somit erheblich. Man beobachtet sowohl Konstanz der Dicke an einem Werkstück, als auch einen Dickenwechsel ohne ersichtlichen petrographischen Grund. So kann die Dicke gegen den Rand der Schale (bzw. gegen eine nicht der Schalenverwitterung unterlegene Gesteinspartie) ganz allmählich abnehmen, oder aber die Schale reißt in normaler Dicke unvermittelt ab. Die Schalen sind gegen die Lockerungszonen entweder ziemlich glatt oder aber durch sekundäre Lockerungspartien uneben. Die Schalendicke ist nur sehr bedingt von der Gesteinsbeschaffenheit abhängig, wie schon die wechselnde Dicke an einem Quader zeigt. Bei den granitischen Sandsteinen schwankt die Dicke der normalen Schalenausbildung in einem weit größeren Verhältnis als den Schwankungen in Korn, Porosität, Sättigungsziffer, Anteil des Kalkspates im Bindemittel bei diesen Sandsteinen entspricht. Diese Eigenschaften schwanken etwa im Verhältnis 1 : 2, die normalen Schalendicken (von den ganz dünnen abgesehen) etwa 1 : 6. Die Beobachtungen lassen nicht einmal mit Sicherheit entscheiden, ob den grobkörnigeren granitischen Sandsteinen die dickeren Schalen entsprechen. Die Schalen der marinen Molassesandsteine sind stets relativ dick, während die kalkreichen subalpinen Sandsteine dünne Schalen (einhalb bis einige Millimeter) ausbilden. Ebenso waren alle beobachteten Schalenbildungen der kristallinen Gesteine und Kalksteine ziemlich dünn.

Eine Volumenzunahme an normalen Schalenbildungen zeigt sich am deutlichsten bei den granitischen Sandsteinen und hier vor allem an den vereinzelt auftretenden sehr großen Schalen an freistehenden Steinen (meist Pfosten). Hier zeigen sich oft schöne Wölbungen nach außen, bis Rißbildungen nach Art der Treibrisse entstehen (Fig. 22). Dieses Aufwölben im mittleren Teil der Steinfläche deutet darauf hin, daß die Lockerungszone sich zuerst in der Mitte eines Werkstückes bemerkbar macht, während gegen die Kanten (auch bei freistehenden Steinen) der feste Verband zwischen Oberfläche und Gesteinsinnerm noch bestehen bleibt. Bei den Steinen im Mauerverband schreitet die Lockerungszone oft nicht ganz bis zur Fuge vor, so daß die Mauersteine nur im zentraleren Teil eine herausgebrochene Schale zeigen (Fig. 28). Bei freistehenden Steinen dringt die Lockerung bis zur Kante vor, wobei gewöhnlich Risse auftreten, was zum Zurückgehen einer Wölbung führen kann (Fig. 21).

Die Schalenbildung hat die Tendenz, sich zu wiederholen. Man bemerkt sehr oft, wie sich unter einer herausgebrochenen Schale eine neue Lockerungszone und eine neue Abschalung bildet (Fig. 25, 28). In verschiedenen Fällen sind bis zu fünf Schalen untereinander festgestellt worden. Bei mehrfacher Schalenbildung sind die innern oft weniger dick als die äußerste (in einem Falle z. B. 3—4 gegen 8—10 mm).

Auftreten. Besonders von den granitischen Sandsteinen liegen aus Zürich so zahlreiche Beobachtungen vor, daß es möglich ist, die für die Schalenbildungen günstigen Bedingungen unter großstädtischen Verhältnissen (für diese Gesteinsart) festzulegen. In abnehmender Intensität und Raschheit der Bildung findet man Schalen an folgenden Objekten:

1. Möglichst mehr- oder allseitig freistehende Steine relativ kleiner Dimensionen in einer oder zwei Richtungen, sowohl bei vertikaler wie horizontaler Haupterstreckung: Statuen, Pfosten

von Toren und Gartenzäunen, Balustraden, stark hervorragende Fensterbänke usw. In zahlreichen Fällen beginnt hier die Schalenbildung schon nach 15 bis 30 Jahren, und zwar auch dann, wenn die genannten Objekte dem Einfluß der Grundfeuchte völlig entzogen sind. Von den unzähligen Beispielen (s. auch Figur 21—24), seien hier die Statuen an den Amtshäusern beim Werdmühleplatz (Zürich) genannt, die, um 1912 aufgestellt (in Nischen, viele Meter über der Straße), schon um 1930 starke Abschalungen zeigten und geflickt werden mußten. Von den Pfosten von Gartenzäunen aus granitischer Molasse der 80er und 90er Jahre wiesen jedenfalls 70—80 % nach 30 bis 40 Jahren starke Abschalungen auf und sind heute zum größten Teil entfernt oder mit Mörtel geflickt. Die schönen Beispiele von Figur 21—24 bestehen alle nicht mehr. Um so merkwürdiger ist es, daß man immer wieder einzelne völlig intakte, keineswegs hohl klingende Pfosten findet, neben stark abschalenden aus gleichartigem Material, unter scheinbar gleichartigen äußern Bedingungen und der Oberflächenverwitterungsfarbe nach unzweifelhaft von gleichem Alter.

2. Sockelsteine von Garteneinfriedigungen und alle Mauerungen im Bereiche der Grundfeuchte (Fig. 16, 27, 28 u. a.). Auch hier treten Schalen oft nach 20 bis 40 Jahren auf, doch



Fig. 19. Dünne Schalenbildung senkrecht (auf 2 Flächen) zum Lager an Leventinagranitgneis. Post Chur. Alter 45 Jahre.



Fig. 20. Typische Schalenbildung an Sockelstein aus Beton.

sind die Fälle häufiger, wo die Schalenbildung länger braucht oder vielleicht ganz ausbleibt. Sehr oft ist die Intensität der Bildung an einer Mauer sehr ungleichmäßig: einzelne Steine zeigen schon eine fortgeschrittene Abschalung (unter Umständen bereits mehrfache Schalenbildung), während andere durch Rißbildungen oder hohlen Klang das Vorhandensein einer Lockerungszone anzeigen, und wieder andere noch völlig intakt sind. Mehrfach begegnet man aber auch alten Mauerungen von typischer granitischer Molasse im Grundfeuchtebereich, die gar keine Abschalungen aufweisen. Auch eine bereits erfolgte Abschalung kann wieder zur Ruhe kommen und nicht weiter um sich greifen. Beispiele für die sehr ungleiche Intensität der Schalenbildung bieten zahlreiche Stützmauern im Freien aus dem Ende des vorigen Jahrhunderts in Zürich. Verschiedene Mauern weisen eine fast 100 %ige Schalenbildung auf (zudem oft zwei bis vier Schalen), wie z. B. die großen Stützmauern am Leonhardsplatz (heute z. T. beseitigt), bei andern Mauern zeigen etwa 10—20 % der Quader sichtbare Abschalungen (Bahnhof Stadelhofen), öfters findet man Mauerungen, bei denen nur wenige Prozent Schalen aufweisen, oder solche, die überhaupt frei von jeder Schalenbildung sind (z. B. gewisse Ufermauern am Schanzengraben) (Fig. 55). Auch Mauern mit zonenweiser Häufung der Schalen sind zu beobachten, so z. B. weisen an einer Ufermauer der Limmat bei der Bahnhofbrücke die untersten 2—3 m fast keine Schalen auf, darüber folgt eine Zone mit intensiven Abschalungen, während die oberste Partie (die durch die Abdeckung „geschützt" ist) vorwiegend die hier üblichen Absandungen und Abblätterungen zeigt.

3. Hochmauern an Gebäuden außerhalb des Bereiches der Grundfeuchte. Typische Abschalungen treten hier unter 30 bis 50 Jahren nur in Ausnahmefällen auf, am ehesten noch an



Fig. 21. Pfosten aus granitischer Molasse mit gegen 2 m langer Schale auf zwei Flächen. Oberfläche des Steines, abgesehen von einigen Rissen, ganz intakt. Talstraße, Zürich.



Fig. 22. Abschalung an einem Pfosten ganz außerhalb des Grundfeuchtebereiches. Volumenvermehrung deutlich an den Aufwölbungen und Rissen. Granitische Molasse. Zürichbergstraße, Zürich. Alter etwa 70 Jahre.



Fig. 23. Zwei verschiedene Zerstörungsformen an Pfosten aus granitischer Molasse. Links Aushöhlung durch Abblätterung mit Parabelbegrenzung (seitlich Wasserabfluß). Rechts echte Schalenbildung. Abdeckplatte intakt. Rämistraße, Zürich.



Fig. 24. Dünner Pfosten, der ringsum die Schale verloren hat. Deutlich die mürbe, weiter abblätternde Zone. Granitische Molasse. Plattenstraße, Zürich.

Türmen, die dem Schlagregen und Wind stark ausgesetzt sind (Türme der Predigerkirche und der Universität Zürich). Auch Bauten höheren Alters (bis 100 Jahre und darüber) weisen diese Zerstörungsform oft nur in kleinem Umfange oder gar nicht auf.



Fig. 25. Bildung von vier dünnen Schalen an Quader aus granitischer Molasse an Stützmauer im Freien. Nur etwa 5 % der mehr oder weniger mit Flechten bewachsenen Steine zeigen Abschalungen, die meisten davon aber mehrfache. Zürich.



Fig. 26. Gesimse aus granitischer Molasse. Starke Abschalung vorn und oben, mit Rißbildungen. Zürich.

Die bisherigen Beobachtungen lassen nicht entscheiden, ob unter sonst gleichen Umständen die Schalenbildung an horizontalen oder vertikalen Flächen eher auftritt, meist beobachtet man (an Sockelsteinen von Einfriedigungen z. B.) gleich intensive Bildung auf beiden Flächen (z. B. Fig. 27). Die Exposition des Bauteiles nach den Himmelsrichtungen ist jedenfalls nicht von entscheidendem Einfluß. Man findet ausgesprochene Abschalungen an südexponierten, völlig unbeschatteten Mauern, wie an nordexponierten, zudem stark von Bäumen beschatteten Objekten. Immerhin scheint aber doch lange Besonnung und Windexposition die Schalenbildung zu beschleunigen; die stark mit Vege-

tation bewachsenen alten schalenfreien Mauern im Grundfeuchtebereich sind gewöhnlich von der Sonne ziemlich abgewendet.

Die marinen Molassesandsteine (Plattensandsteine und Berner Sandsteine) sowie ähnliche zu Bauzwecken verwendete Trias- und Molassesorten dürften unter ähnlichen Umständen wie die graniti-



Fig. 27. Garteneinfriedigungsmauer aus granitischer Molasse. Gleiche Intensität der Abschalung auf horizontaler wie vertikaler Fläche.



Fig. 28. Kleine Stützmauer an der Südseite der Kathedrale Lausanne aus Molassesandstein, mit intensiven, z. T. mehrfachen Schalenbildungen.

schen Sandsteine zur Schalenverwitterung gelangen. Die viel selteneren Beobachtungen rühren einerseits davon her, daß Objekte wie unter 1. angegeben von diesen Gesteinen weniger hergestellt wurden, oder weil längst verwittert, verschwunden sind, anderseits, daß die bei diesen Gesteinen viel intensivere Verwitterung durch Absandung und Abblätterung die reine Schalenbildung übertönt.

An den Muschelkalksteinen, kalkreichen stampischen Sandsteinen und kristallinen Gesteinen wurden Schalenbildungen vor allem an Bauteilen, die im Bereiche der Grundfeuchte liegen, beobachtet, wovon die Figuren 18, 19, 79 einige Beispiele geben.

Einen interessanten Sonderfall einer rapiden Schalenbildung zeigen Platten am Kunsthaus in Luzern (siehe die Fig. 59—61, mit Erläuterungen). Von besonderer Art ist auch die Abschalung,

die man bisweilen an Pflastersteinen, die wenig abgenützt werden, bemerkt (Fig. 62). Es scheint sich bei diesen Steinen durchweg um stampische kalkreiche Sandsteine der subalpinen Zone (sowohl der Ostschweiz, wie der Westschweiz) zu handeln.

An Beton und Kunststein kann man schöne Abschalungen ebenfalls oft beobachten.

Die Sockelschalen.

Diese recht merkwürdige, verbreitete Schalenbildung zeichnet sich durch stets dunkle Färbung der Steinoberfläche und durch sehr geringe Schalendicke bei kleinen Dimensionen aus. Sie wurde auf sehr verschiedenen Gesteinen beobachtet, solchen, die normale Schalen ausbilden und solchen, bei denen diese ganz fehlen. Am größten ist das Beobachtungsmaterial bei den viel verwendeten granitischen Sandsteinen. Hier sind diese Sockelschalen 0,5—1 mm dick, sie entsprechen der Dicke einer Körnerschicht. Man findet sie öfters auf den normalen, weit dickeren Abschalungen, gewissermaßen als



Fig. 29. Westfassade der Stiftskirche Einsiedeln. Deutlich die ziemlich ausgedehnten Schalenbildungen. Alter um 220 Jahre. Granitische Molasse (vom Etzel).

sekundäre Bildungen. Die dunklen Überzüge verleihen diesen Gesteinshäuten erst die zum Zusammenhalt nötige Festigkeit. Zahlreiche Beobachtungen von Sockelschalen liegen weiter vor an Muschelkalksteinen, Jurakalken, Alpenkalken, Aaregraniten, Leventinagranitgneisen, Andeerer Graniten und andern Gesteinen. Bei den dichten kompakten Kalksteinen kommt es meist nur zur Schwärzung ohne Gesteinslockerung, bei den kristallinen Gesteinen aber zur sehr typischen Abschalung bis Abblätterung. Bei gröber gekörnten Gesteinen sind die Schalen dicker als 1 mm, selten aber mehr als 2—3 mm. Die Sockelschalen sind fast ganz beschränkt auf bodennahe Baubereiche, man sieht sie oft an Sockeln, Garteneinfriedigungen, Pfosten usw. Man findet sie sowohl auf vertikaler wie horizontaler Fläche. Sie sind wegen ihrer Dünne nicht erheblich gesteinszerstörend, bewirken nach dem teilweisen Abfallen aber ein fleckiges Aussehen der damit behafteten Objekte (Fig. 57). Sie bilden sich offensichtlich rasch, vielleicht in 20 bis 40 Jahren.

Entstehung der Schalen.

Trotz der Schwierigkeit der direkten Vergleiche (mangels gleichartiger Bauobjekte) kann mit Bestimmtheit gesagt werden, daß die Schalenverwitterung unter entsprechenden Bedingungen (Gesteinsart, Baubereich) in Städten weit verbreiteter auftritt als in Dörfern oder gar auf freiem Lande. Gewiß, in Ortschaften von einigen tausend Einwohnern kann man sie noch dann und wann sehr typisch antreffen. So weist z. B. die Westfassade von Kloster und Stiftskirche Einsiedeln (aus Sandsteinen vom Typus der granitischen Molasse) nicht nur im Grundfeuchtebereich stellenweise beträchtliche Abschalungen auf

(Fig. 29). Diese Mauerteile sind indessen mehr als 200 Jahre alt und zudem einer beträchtlichen Rauchgaseinwirkung der nahen geschlossenen Ortschaft ausgesetzt. Auf völlig freiem Lande kann man überall sehr alte Objekte sehen, die ganz oder doch fast frei sind von Schalenverwitterung.

Die Beobachtungen am Bauwerk gestatten folgende Schlüsse über die Schalenbildung. Ohne Frage ist für die Entstehung der großen Mehrzahl in erster Linie eine häufig wiederholte, abwechselnde Befeuchtung und Austrocknung der äußern Gesteinszone (Feuchtigkeitsrhythmus nach Kieslinger) maßgebend. Dafür bieten gerade die auf Seite 13 erwähnten bevorzugten Objekte und Bereiche gute Beweise, vor allem die möglichst mehrseitig freistehenden Steine von „säuligem bis tafeligem Habitus". Diese werden oft von außen benetzt und trocknen durch Sonne und Wind rasch wieder aus. Je mehr die Lage oder Exposition einerseits einen ständigen Feuchtigkeitsstrom nach außen gestattet, oder anderseits die Befeuchtungen der Oberfläche seltener werden, desto ausgesprochener nimmt die Raschheit oder Intensität der Schalenbildung ab. Die Ausbildung der Lockerungszone unterhalb der intakten Gesteinsoberfläche wird in der Hauptsache auf folgende zwei Ursachen zurückgeführt:

a) Anreicherung der schädlichen Sulfate (S. 26) in bestimmter, durch Porosität (Volumen und Porenweite), Befeuchtungs- und Austrocknungsverhältnissen bedingter Tiefe;

b) Mineralzersetzungen und Auflösungen durch säurehaltiges Wasser unter der Oberfläche, verbunden mit Wanderung der gelösten Stoffe nach außen, hier eine Volumenvermehrung erzeugend.

Für die Wirksamkeit von Punkt b sprechen die oft zu beobachtenden deutlichen Aufwölbungen von großen Schalen; die Bedeutung der Sulfate (Punkt a) geht aus direkten Feststellungen dieser Stoffe in der Lockerungszone hervor. Es sei überdies bereits hier darauf hingewiesen, daß sich im Experiment mit Sulfattränkung eine Schalenbildung (von gleicher Dicke wie am Bauwerk) an dazu disponierten Gesteinen leicht erzeugen läßt. Auf die weit größere Bedeutung dieser auf die Rauchgase zurückzuführenden Umstände als etwa von Frosteinwirkungen, Quellungs- und Schwinderscheinungen, Temperaturwechsel usw. weist der „städtische" Charakter der Schalenverwitterung deutlich hin. Eine eingehendere Diskussion der Erscheinung wird im Anschluß an die Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen in Teil II erfolgen.

Bei den Schalenbildungen an Pflastersteinen ist es ebenfalls noch nicht entschieden, ob es sich um vorwiegende Diffusionserscheinungen verbunden mit Sulfatlockerungen, wie bei den gewöhnlichen Abschalungen, um Frosteinflüsse, oder um Temperatureinwirkungen handelt.

Über die Bildung der Sockelschalen siehe Seite 34.

b) Die Zerbröckelung und Abblätterung.

Unter Zerbröckelung wird hier der Zerfall des Gesteins in kompakt bleibende Gesteinsbrocken (Bröckel) verstanden. Als Bröckel im engeren Sinne bezeichnet man die unregelmäßigen, aber mehr oder weniger isometrischen Gesteinspartikel, die vorzugsweise beim Zerfall längs (natürlichen oder künstlichen) Rissen oder Klüften entstehen. Sehr oft, besonders bei geschichteter oder schieferiger, bisweilen aber auch bei makroskopisch massiger Textur tritt ein Zerfall in schuppige bis blätterige Gesteinspartikel auf, den man als Abblätterung bezeichnet. Diese Gesteinsblätter sind allerdings oft von stark gelockerter Struktur und leiten zum sandigen Zerfall über, die Abblätterung kann aber auch oft in die eigentliche Abschalung übergehen.



Fig. 30. Ausbröckelungen an Kalkstein längs Suturen und Tonhäuten. Technikum Winterthur. Alter etwa 70 Jahre.

Der Bröckelzerfall im engern Sinne ist bei uns eine sehr verbreitete und typische Verwitterungsform der Kalksteine (Fig. 30, 32, 71), und zwar vor allem der häufigen feinkri-



Fig. 31. Abblätterungen und Schalenbildungen an Berner Sandstein. Bahnhof Bern. Phot. M. Gschwind.

stallinen (krypto- bis mikrokristallinen) Formen, doch fehlt er auch bei den oolithischen und spätigen Kalken nicht. Der Zerfall folgt bei diesen Gesteinen den oft verbreiteten primären Inhomogenitäten oder Phänomenen der Diagenese (Mergellagen, welligen Tonhäuten, Suturen), aber auch tektonisch bedingten Kluftbildungen, und besonders bei den sehr feinkristallinen spröden Kalken vielfach den feinsten Rißbildungen, die bei der Gewinnung und Weiterverarbeitung entstehen. Gesteine mit pelitischem Anteil erleiden längs Schwindrissen einen Bröckelzerfall. Bei Beton ist die Zerbröckelung die häufigste Verwitterungsform.

Im allgemeinen unterliegen die als Bausteine verwendeten Kalke des Juragebirges häufiger einer Bröckelzerstörung als die Kalke der Alpen, sofern letztere nicht aus tektonisch besonders beanspruchten Regionen stammen. Dies rührt davon her, daß die Tonhäute und Suturen bei den Jurakalken meist noch leichter erweichbare Tonbeläge enthalten oder teilweise offen sind, während bei den alpinen Kalken die Tonlagen bereits kristallin wurden und damit stärker verfestigt sind und kaum mehr Wasser aufnehmen, die Suturen durch die erheblichere Umkristallisierung verwischter oder durch Kalkspat verheilt sind. Infolge der stärkeren tektonischen Klüftung sind allerdings nur relativ wenige Kalksteinvorkommen der Alpen imstande, geeignetes Bausteinmaterial zu liefern. Weitere Einzelheiten über den Bröckelzerfall bei den verschiedenen Kalksteinarten und -vorkommen werden in Abschnitt 5 aufgeführt.

Die Abblätterung ist eine sehr verbreitete Verwitterungsform bei Molassesandsteinen, am häufigsten tritt sie bei den Plattensandsteinen parallel der Schichtung, bisweilen aber auch quer zu dieser auf. Auch bei den Muschelkalksteinen ist sie die vorherrschende Verwitterungsform, bei granitischen Sandsteinen tritt sie gegenüber der Schalenbildung zurück, geht auch vielfach in diese über, bei den Berner Sandsteinen wiegt infolge des geringen Kornzusammenhanges die reine Absandung vor. Auch die Gneise (Tessiner Gneise, Roffnagneise) zeigen, sofern überhaupt Verwitterung auftritt, meistens eine Abblätterung nach der Schieferung, gelegentlich auch quer dazu, dann oft in die Sockelschalenbildung überleitend. Einen abblätterungsartigen Zerfall beobachtet man öfters an Kunststeinen, Mörtel, Verputz und auch an Backsteinen und andern keramischen Produkten.

Bereiche der Verwitterung durch Zerbröckelung und Abblätterung. Diese Zerstörungsformen treten allgemein zuerst an den in Abschnitt 2 genannten, besonders gefährdeten Bereichen an Bauwerken auf. Sehr oft sind sie mit oberflächlichen Gipskrustenbildungen verbunden, an Sockeln mit Dunkelfärbung (S. 34). Die Zerbröckelungen der Kalksteine greifen allerdings mit der Zeit auch auf regenexponierte, sonst weniger zur Verwitterung neigende Bauteile über.

Entstehung von Zerbröckelung und Abblätterung. Die Zerbröckelung längs Rissen, Tonhäuten und Suturen ist auch in den Städten teilweise durch Frosteinwirkungen bedingt, teilweise durch Quell- und Schwinderscheinungen oder Sulfateinwirkung (wohl mehr in den Anfangsstadien). Die Abblätterung an Molassesandsteinen und an kristallinen Gesteinen an Bauwerken ist unbedingt in erster Linie Sulfateinwirkung. In unzähligen Fällen konnte beobachtet werden, wie abblätternde Stellen nach einer Trockenperiode von Sulfatausblühungen durchsetzt sind (weiteres darüber s. S. 26). Ein Frostaufblättern findet man an Bauwerken öfters an einigen Molassegesteinen, Triassandsteinen, Mergelschiefern und glimmerreichen Kalkschiefern, die auch im Winter einem außergewöhnlichen Feuchtigkeitszufluß (starke Grundfeuchte, Schneeschmelzwasser) ausgesetzt sind. Stark pelitische Sandsteine (mergelig-toniges Bindemittel) blättern natürlich auch durch Quell- und Schwinderscheinungen (als Anfangsstadium) auf. In gewissen Fällen wird bei gestockten Steinen vermutet, daß eine oberflächliche Abblätterung durch diese Bearbeitungsart begünstigt wurde.

c) Die Absandung.

Unter Absandung wird hier der Zerfall des Gesteins in die Einzelkörner (oder stark gelockerte Kornhaufwerke) verstanden. Sie tritt in erster Linie bei körnigen Gesteinen mit geringer Kornbindungsfestigkeit, vor allem an Sandsteinen, dann aber auch an zahlreichen kristallinen Gesteinen, besonders solchen, die durch tektonische Einwirkungen oder beginnende (natürliche) Verwitterung gelockert sind, ferner bei einzelnen Dolomit- und Kalkmarmoren und Kalksteinen auf. Unter unsern Bausteinen ist Absandung herrschende Verwitterungsform bei den Berner Sandsteinen und verwandten Molassetypen (Fig. 12, 34, 37, 54 u. a.), häufig ist sie neben der Abblätterung bei den Plattensandsteinen; auch bei der granitischen Molasse begegnet man ihr oft (z. B. Fig. 43). Bei Aaregraniten und Graniten aus



Fig. 32. Typische Frostzerbröckelung längs dünnen Tonhäuten. Oolithkalkstein des Sequans.



Fig. 33. Extrem lokalisierte intensive Abblätterung an granitischer Molasse. Normale Schalenbildung fehlt. Ursache unbekannt. Menzingen. Alter etwa 70 Jahre.

dem Bayerischen Wald findet man gelegentlich einen Zerfall in die Einzelkörner bei Pflastersteinen und Randsteinen (sog. Wassersöffergranite, Fig. 81). Sehr untergeordnet sind diese Erscheinungen an Tessiner Gneisen. Einen absandungsartigen Zerfall beobachtet man auch unter besondern Bedingungen an den porösen Spatkalken von Hauterive („pierre jaune“) und an den Kalkoolithen des Hauptrogensteines. Im letztern Fall werden die „Sand“körner durch die rundlichen Ooide von kryptokristalliner Innenstruktur gebildet. Feinkörnige Kunststeine pflegen bei Verwitterung abzusanden.

Das Absanden ist schon im Anfangsstadium auffällig; immerhin ist ein gleichmäßiges leichtes Absanden, wie es ziemlich allgemein an Fassaden aus Berner Sandstein zu beobachten ist, für die Gesamtwirkung nicht sehr störend. Bei der häufigen, örtlich bedingten Absandung können allerdings starke und auffallende Höhlungen erzeugt werden. Man kann beim Berner Sandstein an Mauerquadern und freistehenden Steinen zwei gegensätzliche Zerstörungstendenzen durch Absandung beobachten:

a) Die Absandung geht von der Mitte aus, die bis zu mehreren Zentimeter gegenüber den Kanten zurückwittert, Aushöhlungen erzeugend (Fig. 54);

b) die Absandung beginnt an den Kanten, eine Abrundung der Steine bewirkend (Fig. 37).



Fig. 34.



Fig. 35.

Fig. 34 und 35. Balustrade aus Berner Sandstein am Stadthaus Winterthur. Die sehr intensive Absandung ist ganz an die Bereiche der Sulfatanreicherungen beschränkt. Wo stärkere Regenbefeuchtung stattfindet ist der Stein intakt. Fig. 35. 10 Jahre nach Erneuerung aus gleichartigem Gestein. Wiedereinsetzen der Absandung an genau den gleichen Stellen. Fig. 34 Phot. M. Gschwind.

Bisweilen erzeugt ein absandungsartiger Zerfall tiefe karrenartige Löcher im Gestein mit scharf begrenzten Rippen dazwischen (sog. Verwitterungsskulpturen, Fig. 75).

Bereiche und Entstehung der Absandung. Die intensivsten Absandungen findet man ganz allgemein an den „bevorzugten“ Bereichen am Bauwerk (s. Abschnitt 2), bei den stark



Fig. 36. Erhebliche Absandung und Abblätterung an Vorsprüngen, wo besonders Schneeschmelzwasser den Stein durchtränkt. Erzeugung von Frostschäden. Münsterturm Bern. Berner Sandstein.



Fig. 37. Starke Absandung von den Kanten ausgehend, eine Abrundung der Steine erzeugend. Molassesandstein (molasse grise). Lausanne.

porigen Molassesandsteinen dazu noch an Stellen besonders intensiver und anhaltender Wassertränkung auch im Winter. Vielfach sind abgesandete Steine von ganz locker mit dem Gestein verbundenen Gipskrusten überdeckt (Fig. 39). Dieser Umstand und die Beobachtung, daß besonders die höhlenförmig ausgewitterten Partien sehr oft von feinsten Ausblühungen durchsetzt sind (Fig. 51), weist mit Deutlichkeit darauf hin, daß ein großer Teil der Absandungen auf Sulfateinwirkungen, evtl. auch Chlorideinflüssen, beruhen. Dazu kommt natürlich noch die Frostwirkung in Betracht, dies an Bauten vor allem an vorstehenden Fensterumrahmungen und -bänken, aber auch an den, bei ältern Fassaden aus Berner Sandstein, oft reichen Verzierungen, Ornamenten (z. B. Fialen an gotischen Kirchen) usw., wo im Winter (Schneeschmelzwasser) die Durchfeuchtung stark ist (Fig. 36).

d) Die chemische Gesteinsauflösung.

Die chemische Auflösung von Gestein ist bei Kalksteinen an regengetroffenen Stellen nach größeren Zeiträumen merkbar, führt aber nur ausnahmsweise zu stärkeren Zerstörungen. Nach den Beobachtungen an Kalksteinmaterial, das dunkle, nicht lösliche, kristallin gewordene Tonschieferlagen enthält (z. B. der Kalkstein von St-Triphon), beträgt an regengetroffenen Stellen die Auflösung von feinkristallinem kompaktem Kalkspat in 50 Jahren etwa 1 — 2 mm (Bahnhof Zürich, Parlamentsgebäude Bern). Die feineren Strukturen der Oberflächenbearbeitung verschwinden durch diese Auflösung. Bei den dichten Kalksteinen wird hierdurch die Oberfläche glatter, bei fossilreichen dagegen durch das Hervortreten der Fossilreste (geringere Löslichkeit des grobkristallinen Kalkspats) rauher, was architektonisch durch Belebung glatter Flächen eher ein Vorteil ist. Bei grobkörnigen Marmoren (Typus Castione) tritt ebenfalls eine Aufrauhung ein infolge der ungleichmäßigen Auflösung, je nach der kristallographischen Richtung der Kalkspatkristalle. Das durch Schwefelsäureeinwirkung gelöste kalkige Material scheidet sich zum Teil dann wieder als Gips in den Krusten ab, doch stammt der Kalkanteil dieser Krusten zum Teil aus dem stets kalkhaltigen Staub. An regengetroffenen Stellen wird wohl auch in Städten nur der kleinere Teil der Kalkauflösung auf Schwefelsäureeinwirkung beruhen, der größere dürfte als Bikarbonat gelöst und dann weggeführt werden. Eine Kalkabscheidung aus einer Bikarbonatlösung (nach der Art des Kalktuffes) findet am Bauwerk nach allen Feststellungen selten statt. Die beobachtbaren Kalkspatüberkrustungen an Bauwerken beziehen ihre Ca-Ionen weit vorwiegend aus dem Fugenmörtel oder aus künstlichen Kalk- oder Zementsteinen. Bei kalkigen Sandsteinen wird die chemische Kalkauflösung (des Bindemittels) mit der Zeit zu geringfügigen Absandungen führen.

Ständiger Zufluß von sehr weichem Wasser kann in Brunnenbecken aus Kalkstein in 50 Jahren bis mehr als 1 cm tiefe Korrosionen unter typischer Karrenbildung erzeugen.

4. Die Veränderungen auf der Gesteinsoberfläche.

Darunter werden einerseits alle äußern Krustenbildungen und fremden Auflagerungen, anderseits die Veränderungen der äußersten Gesteinspartie selbst, die nicht mit nennenswerten Zerstörungen verbunden sind, verstanden.

a) Die Gipskrusten.

Beim Betrachten eines nicht ganz neuen Bauwerkes oder Monumentes aus Kalkstein fallen die oft ausgedehnten dunklen Schlieren, Flecken oder Streifen auf, welche die Gesamtwirkung weitgehend beeinflussen. Beobachtet man diese dunklen Stellen näher, so bemerkt man, wie der Stein von einer dünnen unebenen Kruste überdeckt ist, die sich in der Hauptsache aus wasserhaltigem Calciumsulfat, als Mineral Gips genannt, zusammensetzt. Die Ausbildung und Intensität des Auftretens dieser Gipskrusten ist im einzelnen sehr mannigfaltig.

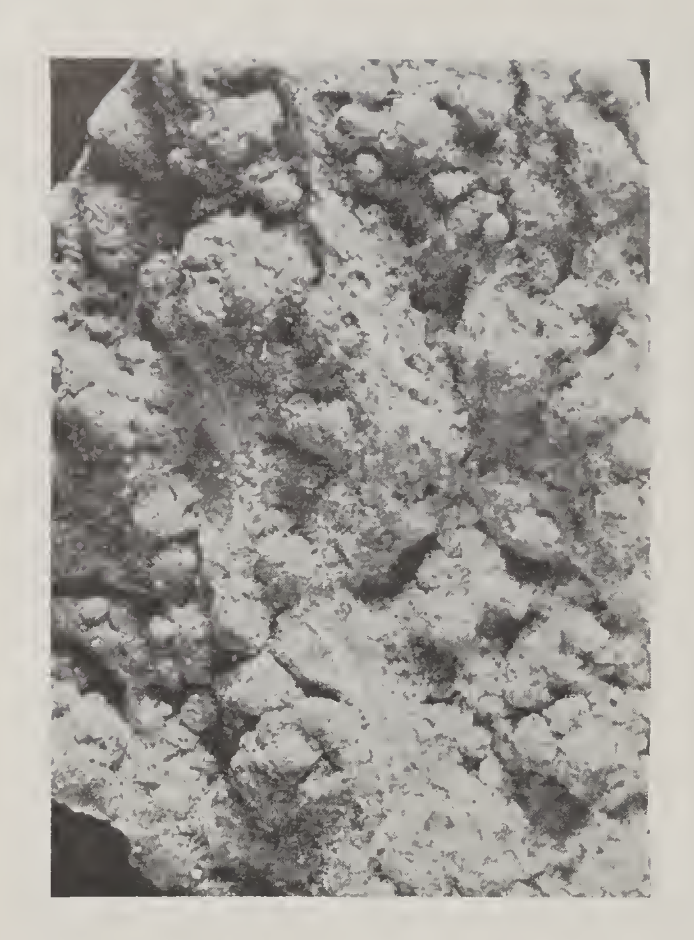


Fig. 38. Vergrößerte Gipskruste (etwa zehnfach). Deutlich die kristalline Struktur.

Beschaffenheit. Die Gipskrusten zeichnen sich stets durch eine löcherig-höckerige, auch traubig-stalaktitische Ausbildung aus (Fig. 38, 40), auch blumenkohlartige Gebilde sind häufig. Im Anfangsstadium kann das Gestein auch mit kleinsten, noch unzusammenhängenden tröpfchenartigen Gebilden bedeckt sein. Normalerweise sind diese Gipskrusten sehr dünn (unter 1 mm), doch können bisweilen mehrere Millimeter bis Zentimeter Dicke erreicht werden. Teils sind diese Krusten sehr fest mit dem Gestein verwachsen, teils aber auch ganz lose. Sie sind stets ziemlich dunkelgefärbt, oft dunkel grauschwarz bis schwarz, gewöhnlich schmutziggrau, sehr selten braun. Sie sind stets dunkler als der an den selben Stellen auftretende lockere Staubbelag. Die Intensität des Farbtones hängt ab von der Nachbarschaft rußerzeugender Kamine, aber anscheinend auch vom Gestein, auf dem sie sich ausbilden. In Städten sind sie im Zentrum dunkler als in den Außenquartieren, wo sie auch weniger ausgedehnt sind. Die mikroskopische Untersuchung dieser Krusten zeigt, daß sie zur Hauptsache aus einem deutlich kristallinen Gipsaggregat bestehen, das oft auch kalkige Partikel, opake kohlige Teilchen und allerhand organische Reste eingeschlossen enthält.

Auftreten der Gipskrusten. Die Gipskrusten treten in erster Linie und am auffallendsten an den dichten kompakten Kalksteinen auf. Hier erzeugen sie durch die dunkle Färbung einen starken Kontrast zu den oft ausgebleichten (bisweilen fast weißen), nicht verkrusteten Kalksteinpartien (Fig. 41). Bei den kompakten Kalksteinen sind sie meist auch sehr fest mit dem Gestein verbunden und nur durch Überarbeiten zu entfernen. Verschiedene Beobachtungen deuten darauf hin, daß die Krusten an Kalksteinen intensiver gefärbt sind als an andern Gesteinen. Auf porösen Kalksteinen sind die Krustenbildungen scheinbar weniger ausgedehnt, zudem auch lockerer mit dem Gestein verbunden, so daß sie leicht abfallen. Bei Kalktuffen mit ihrer groblöcherigen Struktur sind sie äußerlich wenig sichtbar, im Innern der Löcher aber vorhanden. In geringerem Ausmaße bilden sich diese Gipskrusten auch auf kalkhaltigen Sandsteinen, Kunststeinen, Beton, ja selbst auf den völlig kalkfreien Buntsandsteinen und auf kristallinen Gesteinen (Fig. 7, 80). Bei diesen karbonatfreien Gesteinen sind sie meist nur auf wenige charakteristische Bereiche am Bauwerk beschränkt; ihr Auftreten läßt sich hier zum Teil dadurch erklären, daß die $Ca^{\cdot\cdot}$- und SO_4''-haltigen Lösungen aus höher am Bauwerk befindlichen kalkhaltigen Steinen zugeführt wurden. Solche Verhältnisse liegen z. B. häufig vor bei Sockeln aus Granit mit darüber folgender Hochmauer aus Kalksteinen, Molassesandsteinen oder Kunststeinen. Zum Teil dürfte der zur Gipsbildung notwendige Kalk von dem auf allen Vorsprüngen sich absetzenden Staub geliefert werden. Dieser ist im Mittelland überall erheblich kalkhaltig.

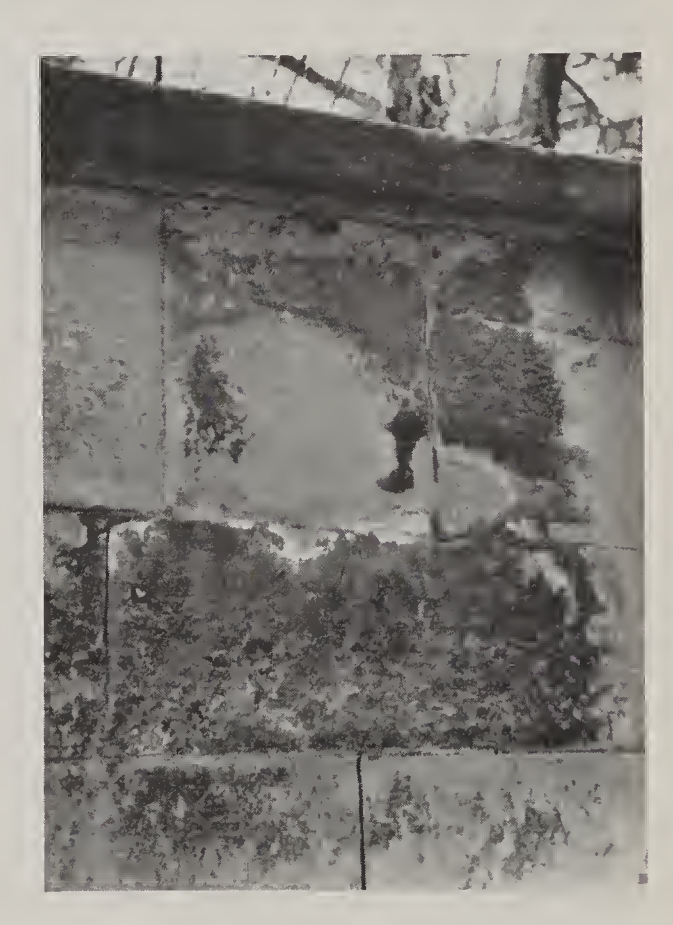


Fig. 39. Dunkle Gipskrusten unter Abdeckung an Molassesandstein. Unter den nur lose mit dem Stein verbundenen Krusten Ausblühungen von Natriumsulfat (weiß) und Abblätterungen. Künstlergasse, Zürich.

Für den Ansatz einer Gipskruste am Bauwerk ist in erster Linie die Regenexposition des Bauteiles maßgebend. Fast alle Stellen, die regelmäßig von den fallenden Regen-

tropfen getroffen werden, ferner auch solche, die nicht allzu selten von Schlagregen bestrichen werden, ferner die Wasserablaufstellen sind weitgehend frei von Gipskrusten. Diese treten aber allgemein an Stellen auf, die vor dem direkten Regen geschützt sind (Fig. 40), bei starkem Niederschlag aber durchfeuchtet werden. Am intensivsten ist meist die Krustenbildung in unmittelbarer Nachbarschaft von Bauteilen, an denen Wasser herabsickert (Fig. 8), während die Sickerstellen selbst frei davon bleiben; dann an der Unterseite von Gesimsen (Fig. 7, 80), an geschützten Stellen von Profilen, Kapitälen, Bildwerken usw. Auch an glatten Wänden beobachtet man sie, hier jedoch fast nur bei sehr



Fig. 40. Typische Ausbildung einer Gipskruste unter vorspringendem Quader von Muschelkalkstein, ein Flechtenwachstum vortäuschend. Terrasse der ETH., Zürich.

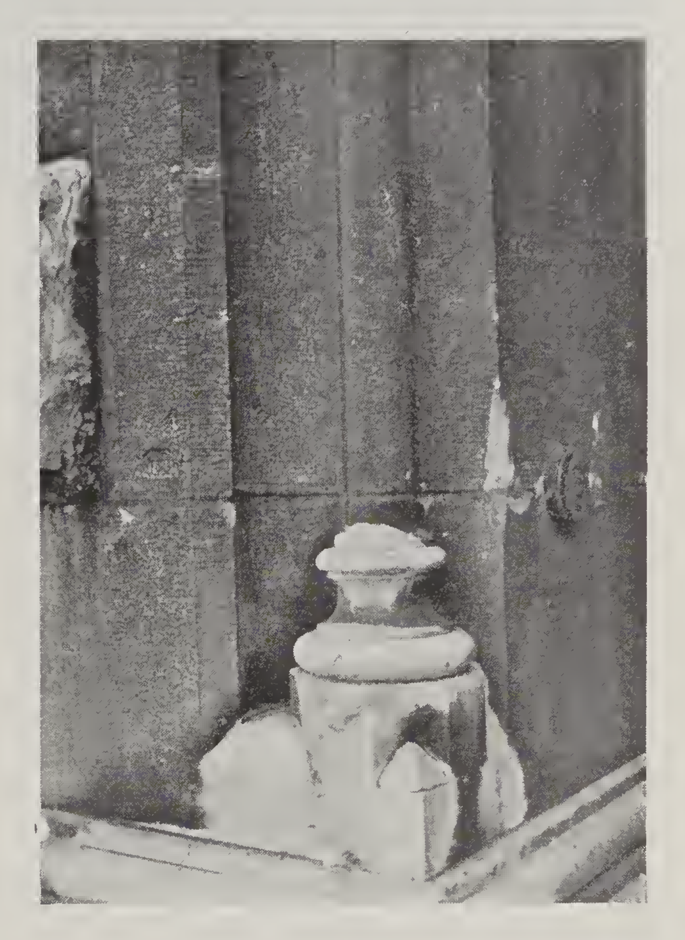


Fig. 41. Die starke Schwärzung des Jurakalksteins in nicht beregneten Bereichen beruht auf der Bildung einer sehr dünnen Gipskruste, die fest mit dem Stein verbunden ist. Landesmuseum, Zürich.

kalkreichen Gesteinen, besonders bei reinen dichten Kalksteinen und gewöhnlich nur auf den regenabgewendeten Seiten (bzw. Flächen) eines Bauwerkes. In zahlreichen Fällen ist es sehr schwer zu deuten, weshalb an einer bestimmten Stelle eine Kruste auftritt und unmittelbar daneben, unter scheinbar gleichen Umständen, der Stein völlig frei davon ist. Nur bei ganz genauer Kenntnis des Regenabflusses am Bauwerke ließe sich dafür eine Erklärung finden. Unter Umständen kann durch einen unbegreiflich geringfügigen Umstand eine Krustenbildung begünstigt oder verhindert werden (Fig. 42).

Die Gipskrusten sind bei allen Gesteinen Begleiter der durch Absandung oder Abblätterung entstandenen Zerstörungsbereiche, besonders auffallend ist dieser Zusammenhang bei den Molassegesteinen, jedoch auch bei kristallinen Gesteinen, kalkfreien Triassandsteinen und vielen Kalken konstatierbar. Kunststeine und Beton sind ebenfalls oft unter den Gipskrusten gelockert (Fig. 49). Weniger mit Lockerungen hangen lediglich die mit dem Stein fest verbundenen Gipskrusten, wie man sie an einigen dichten, porenarmen Kalksteinen beobachtet, vor allem an glatten Hochmauern, zusammen. Keine Beziehungen zu den Gipskrusten haben dagegen die echten Schalenbildungen. Der Zusammenhang von Gipskrusten und Gesteinszerstörungen wird nicht auf eine direkte schädliche Einwirkung des Gipses auf den Stein zurückgeführt, sondern darauf, daß eben da, wo sich das Calciumsulfat abscheidet, sich auch die noch leichter wasserlöslichen Na- und Mg-Sulfate anreichern, deren intensivere Einwirkungen bekannt sind.



Fig. 42. Die dunklen Gipskrusten am Kalksteinsockel sind nach unten bogenförmig begrenzt. entsprechend den Bögen unter dem Balkon. Bundeshaus Westbau, Bern.



Fig. 43. Der stark absandende Teil des Pfostens ist völlig von Ausblühungen (hier Magnesiumsulfat) durchsetzt. Die gleich alte Mauer rechts (gut beregnet) ist stark bewachsen und fast unverwittert. Granitische Molasse. Zürich.

Die Bildung der Gipskrusten ist als augenfälligste Rauchgasauswirkung eine typische Erscheinung der Städte und der sehr industriereichen Bezirke. Auf dem freien Lande findet man sie weder am Bauwerk noch am Fels.

b) Die Ausblühungen.

Unter Ausblühungen werden lockere Aggregate von leichtlöslichen Salzen auf der Gesteinsoberfläche (oder in der äußersten Gesteinspartie) verstanden, wobei man gewöhnlich Gips ausschließt. Sichtbare, auffallende Ausblühungen größern Umfanges findet man im allgemeinen auf Natursteinen weit seltener als auf Backsteinen, künstlichen Zementsteinwaren und Beton. Bei näherem Zusehen sind aber doch Ausblühungen in unauffälliger Form (feinste punktförmige Salzaggregierungen auf der Gesteinsoberfläche) in Städten außerordentlich verbreitet.

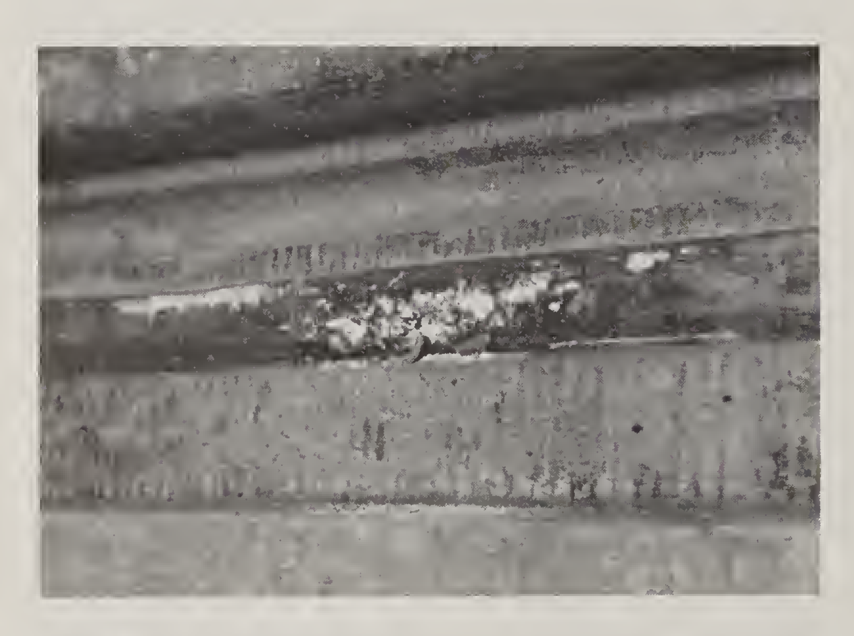


Fig. 44. Die ausblühenden Salze schieben kleine Steinsplitter und -schalen von der Oberfläche weg. Kunststein. Zürich.

Art und Ausbildung der Ausblühungen. In der Tabelle 1 finden sich die Resultate von qualitativen mikrochemischen Analysen wässeriger Auszüge von ausblühungsreichen, meist stark gelockerten Gesteinspartien. Es handelte sich dabei um verschiedenartige Gesteine (auch einige Kunststeine und keramische Produkte) vorwiegend aus Zürich. Aus den Tabellen geht hervor, daß als Anion durchweg vorwiegend SO_4'' festgestellt wurde, in vereinzelten Fällen dazu noch Cl', stets jedoch in weit geringerer Menge; als Kationen meist entweder $Na^{\cdot}$ oder dann $Mg^{\cdot\cdot}$, vereinzelt beide zusammen, in

einigen Fällen war noch $K^{\cdot}$ anwesend (natürlich öfters $Ca^{\cdot\cdot}$ aus Gipskrusten). Aus den Untersuchungen könnte man schließen, daß Mg und Na sich quartierweise einigermaßen ablösen, dagegen nicht von der Art der Gesteinsunterlage und dem Bauwerk abhängen. Als Beispiel sei erwähnt, daß die zwölf Bestimmungen im Hochschulquartier in Zürich durchweg vorwiegend Na ergaben, und zwar auf granitischer Molasse, Plattenmolasse, Muschelkalkstein, Aaregranit, Kunststein und Verputz; an Sockeln im Bereich der Grundfeuchte, Hochmauern, Stützmauern und Garteneinfriedigungen. Die Bestimmungen in Zürich 7 ergaben dagegen durchweg Mg als einziges oder vorherrschendes Kation. Natürlich sind die Bestimmungen viel zu spärlich, um irgendwelche Gesetzmäßigkeiten abzuleiten. Das bekannte betonschädliche, wasserhaltige Sulfat von Calcium und Aluminium (Ettringit) wurde bisher auf Gesteinen nicht festgestellt.



Fig. 45. Anreicherung von Sulfaten im obersten Bereich des Grundfeuchteaufstieges, hier eine schmale Aushöhlungszone erzeugend. Die vorspringende (beregnete) Partie des Sockels aus gleichem Stein ist ganz intakt. Gelber Neuenburger Stein. Stiftskirche Neuchâtel.

Die mikroskopische Untersuchung der Ausblühungen ergab die äußerst feinkristalline Beschaffenheit, die jede Festlegung optischer Daten mit Ausnahme der mittleren Lichtbrechung unmöglich macht. Diese weist bei den im März bei trockener Witterung und Temperaturen um 10—15° gesammelten und in einem Raum von 15° aufbewahrten Ausblühungen einerseits auf Thenardit (Na_2SO_4), anderseits auf Epsomit ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Nach der Ausscheidungskurve würde man bei der Untersuchungstemperatur statt Thenardit Glaubersalz ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) erwarten, doch dürfte die Thenarditbildung auf optisch nicht erfaßbaren Beimengungen beruhen.

Auftreten am Bauwerk. Am intensivsten und auffallendsten sind die Ausblühungen an Natursteinen im frühen Frühling, besonders nach längern Trockenperioden. Außergewöhnlich verbreitet traten sie im März/April der Jahre 1943 bis 1945 in Zürich auf und ließen die Beziehungen zu den Gesteinszerstörungen gut studieren. Es zeigte sich dabei ganz auffallend die Verbreitung der Ausblühungen in den charakteristischen Verwitterungsbereichen an Bauwerken: obere Region des Grundfeuchteaufstieges (Fig. 45), Partien unter Vorsprüngen der verschiedensten Art und besonders seitlich von Wasserablaufstellen. In weitaus den meisten Fällen zeigte die ausblühende Partie Zerfallserscheinungen geringeren bis sehr starken Ausmaßes. Am intensivsten waren solche stets an den

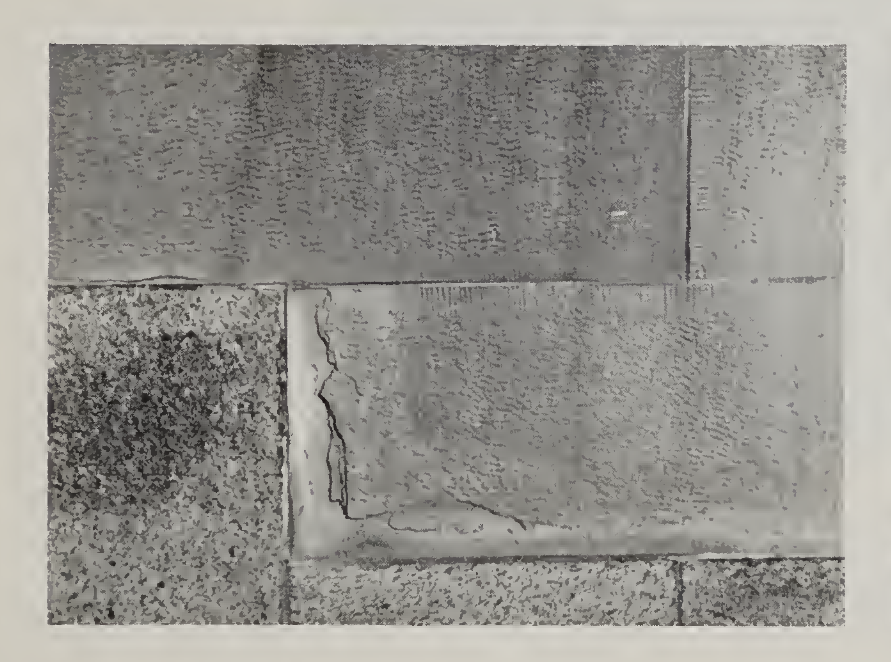


Fig. 46. Starke Natriumsulfatanreicherung an der Grenze von granitischer Molasse und Aaregranit, verbunden mit Abblätterungen. Universität Zürich. Alter etwa 24 Jahre.



Fig. 47. Gleiche Stelle, acht Jahre später aufgenommen. Langsames Fortschreiten der Verwitterung.

marinen Molassesandsteinen (Berner Sandsteinen, Plattensandsteinen) in Form von Abblätterungen und Absandungen, doch auch die granitische Molasse, die Muschelkalksteine und zahlreiche Kalkstein- und Kristallinvorkommen weisen an stark ausblühenden Stellen mehr oder weniger umfangreiche Lockerungen auf (z. B. Fig. 3, 13, 14, 34, 43, 46, 51). Im Sommer verschwinden die auffallenden Ausblühungen auf Naturstein zumeist, bei näherem Zusehen sind aber in der Zerstörungszone oft feinste



Fig. 48. Intensive Ausblühungen an Mauer aus granitischer Molasse. Die Salze sind offensichtlich von der Fuge in den Stein gewandert.



Fig. 49. Wirkung von Salzanreicherungen (verbunden mit Gipskrusten) an Kunststein. Die Balustrade zeigt stellenweise starke Lockerungen und Abblätterungen. E. T. H., Zürich.

Kristallisationen der löslichen Sulfate zurückgeblieben. Sehr oft bemerkt man die Ausblühungen nur in der Randzone eines Quaders, was darauf hinweist, daß die Salzeinwanderung von der Fuge ausgegangen ist (Fig. 48).

Im allgemeinen findet man die Ausblühungen auf Gesteinspartien, deren Gipskrusten infolge der starken Lockerungen der Gesteinsoberfläche bereits abgefallen sind. In Perioden von besonders intensivem Auftreten von Ausblühungen treten die weißen Salze oft auch unmittelbar neben, unter (Fig. 39), oder sogar auf den dunklen Gipskrusten auf.

Herkunft der Ausblühungen. Die Ausblühungssalze wandern mit der Feuchtigkeit an die „begünstigten“ Stellen, d. h. an solche an der Grenze zwischen durchfeuchtetem und trocken



Fig. 50. Zusammenhang von Sulfatausblühungen mit Zerstörungen an Klinker. Alle Steine mit den weißen Ausblühungen sind stark angegriffen.

bleibendem Bereich und in die am längsten feucht bleibenden Bauteile. Hier kristallisieren sie in der äußern Gesteinszone oder ganz an der Oberfläche nach völligem Verdunsten der Feuchtigkeit aus. Jede Befeuchtung bringt sie augenblicklich wieder in Lösung und bewirkt unter Umständen ein neues Wandern im Stein. Der Sulfatanteil dieser Salze stammt in erster Linie wie beim Gips aus den Rauchgasen, bei gewissen Steinen dazu noch aus der Oxydation von Sulfiden, vor allem Pyrit. Die Herkunft der Kationen dürfte verschieden sein. Säurelösliches Mg enthalten die meisten in Frage stehenden Bausteine (ebenso Kunststeine, Mörtel, auch keramische Produkte) in genügender Menge; Na trifft man wohl in Molassesandsteinen und auch in kristallinen Gesteinen, dagegen nur spurenweise in den Kalksteinen. Möglicherweise wandert $Na^{\cdot}$ teilweise oder ganz aus dem Untergrund in das Gestein. Dabei hat sich das Sulfat jedenfalls in der Hauptsache durch Umsetzung aus NaCl gebildet, das in Städten im Winter auf Straßen zum Schmelzen des Schnees in großen Mengen in den Boden gelangt. Cl' wird denn auch gelegentlich neben SO_4'' in Ausblühungen festgestellt. Jedenfalls wird man am Mauerwerk, in dessen Umgebung besonders reichlich Kochsalz in den Boden gelangte, wenigstens im frühen Frühjahr auch NaCl als vorwiegendes Salz feststellen können. Das seltener oder nur untergeordnet nachweisbare Kalium wird offenbar wie in der Natur von den Tonmineralien zurückgehalten und wandert wenig mit der Feuchtigkeit.



Fig. 51. Sehr intensives Absanden an Mauerpartie unter einer Treppe am Seilergraben, Zürich. Auf der Treppe wird im Winter Salz gestreut. Die Steine darunter sind dadurch völlig von schädlichen Salzen durchsetzt. Molassesandstein.

Tabelle 1.

Untersuchungen von Ausblühungen

Örtlichkeit [1]	Bauobjekt	Gestein	Zusammensetzung [2]	Bemerkungen
Universität Zürich, W-Seite	Hochmauer über Sockel	Granitische Sandsteine	SO_4 (Cl) Na	Aushöhlung durch Absandungen, Stelle der Fig. 13
Universität, W-Seite	Hochmauer über Sockel	Granitische Sandsteine	SO_4 (Cl) Na (K)	Stärkere Absandungen, Stelle der Fig. 46
Universität, E-Seite	Stützmauer	Kunststein	SO_4 Na	Neben Gipskrusten
Chemiegebäude der Universität, Rämistr.	Stützmauer	Reußtalgranit	SO_4 Na (K)	Ausblühungen sitzen auf Kalkspat- und Gipskrusten, von Fugen ausgehend
Künstlergasse	Gartenmauer unter Deckplatte	Kunststein	SO_4 Na	Thenardit, Korngröße um 0,001 mm
Künstlergasse	Gartenmauer	Molassesandstein	SO_4 Na Mg	Absandungen und Gipskrusten
Künstlergasse	Stützmauer unter Deckplatte	Granitische Molasse	SO_4 Na (K)	
E.T.H., W-Seite	Stützmauer	Muschelkalkstein	SO_4 Na (K)	Ausblühungen auf den Gipskrusten auf Muschelkalkstein
Universität, W-Seite	Hochmauer über Sockel	Granitische Molasse	SO_4 Na (K)	Starke Absandungen
Haldenegg	Stützmauer	Plattensandstein	SO_4 (Cl) Na (K)	Starke Absandungen, analoge Ausblühungen auch an Kalksteinen
Haldenegg-Weinbergstraße	Stützmauer	Granitische Molasse	SO_4 Na	Stelle der Fig. 48
Empa-Gebäude, W-Seite	Hochmauer	Verputz	SO_4 Na (Mg)	Oberer Grundfeuchtebereich, 20 cm über intaktem Gneissockel
Rütistraße	Stützmauer	Granitische Molasse	SO_4 Mg Na	Starke Absandung
Dolderstraße	Gartenmauer	Plattensandstein	SO_4 Mg	Stark verwittert

[1]) Wo nichts anderes bemerkt in Zürich. [2]) Mikrochemische Untersuchung des wässerigen Auszuges. Die eingeklammerten Stoffe sind gegenüber den andern untergeordnet.

Tabelle 1 (Forts.)

Örtlichkeit [1]	Bauobjekt	Gestein	Zusammensetzung [2]	Bemerkungen
Merkurstraße	Pfosten	Granitische Molasse	SO_4 Mg	Neben Wasserablaufstelle, Ausblühungen z. T. unter Schalenbildung, Stelle der Fig. 43
Bergstraße	Pfosten von Gartenzaun	Granitische Molasse	SO_4 Mg (K)	Quader unter Gneisplatte, stark verwittert
Bergstraße	Stützmauer	Plattensandstein	SO_4 Mg (K) (Na)	Absandend, unter Deckplatte von Gneis
Merkurstraße	Stützmauer (bis vor kurzem unt. Tannen)	Granitische Molasse	SO_4 Mg	Stark abblätternd und absandend, auch Schalenbildungen
Parkring	Stützmauer (unt. Bäumen)	Plattensandstein	SO_4 Mg	Stark absandend, Gipskrusten
Kathedrale Lausannne	Hochmauer	Molassesandstein	SO_4 Mg	Starke Aushöhlung durch Absandung
Bahnhofstraße, Zug	Sockel von Gartenzaun	Granitische Molasse	SO_4 Na	Absandungen

Die Einwirkungen der Salzausblühungen. Die intensive (auch durch das Experiment [Kristallisierversuch] bestätigte) gesteins- und betonzerstörende Einwirkung der Na- und Mg-Sulfate wird auf deren Eigenschaft der Bildung verschiedener Hydratstufen zurückgeführt. Beim Übergang der wasserärmeren oder wasserfreien Salze in die wasserreichern tritt eine Volumenvermehrung und damit Sprengwirkung analog der Eisbildung ein. Diese Umlagerungen sind bei unsern klimatischen Verhältnissen (Temperatur- und Feuchtigkeitswechsel) sehr häufig, zeitweise fast täglich zu erwarten. Die keine Hydrate bildenden Sulfate (wie K_2SO_4) wirken im Experiment nicht gesteinszerstörend. Näheres über die Sulfateinwirkungen siehe **9**; experimentelle Untersuchungen werden im Teil II veröffentlicht.

Poröse Sandsteine zeigen bei abwechselnder Durchfeuchtung mit konzentrierter Kochsalzlösung und nachfolgender Trocknung ebenfalls einen, wenn auch geringfügigeren Zerfall (Absandung). Hier handelt es sich wohl um Kristallisationsdruck bei Ausscheidungen aus lokal übersättigten Lösungen. Versuchsergebnisse werden ebenfalls im Teil II mitgeteilt werden. Auf jeden Fall wirkt sich die winterliche Durchsetzung des Bodens mit Kochsalz auf umgebende Mauerteile (z. B. Stützmauern, Fig. 51, Grundmauern von Gebäuden) und andere Steinobjekte, auch solche in künstlichen Steinmaterialien, Backstein und Verputz, sehr ungünstig aus.

c) Die Kalkspatkrusten.

Krusten, die vorwiegend aus Kalkspat bestehen, entstehen unter städtischen Verhältnissen selten als Abscheidungen von aus dem Gestein herausgelösten Stoffen, im Gegensatz zu den auch weit allgemeiner auftretenden Gipskrusten. Kalküberkrustungen, wie man sie auch an Natursteinen der verschiedensten Art öfters beobachten kann, bilden sich stets von Mörtelfugen oder von Kunststein-

[1] Wo nichts anders bemerkt in Zürich. [2] Mikrochemische Untersuchung des wässerigen Auszuges. Die eingeklammerten Stoffe sind gegenüber den andern untergeordnet.

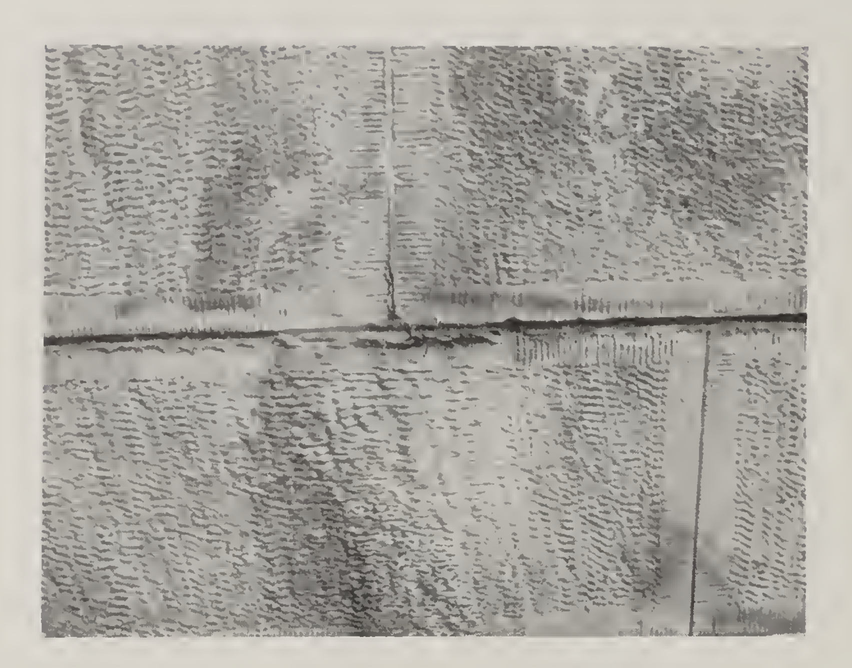


Fig. 52. Kalkspatkruste (weiß) an Mauerwerk, von der Fuge ausgehend.

material aus. Das Kalkkarbonat entstammt somit den löslichen Kalkverbindungen des Zementes oder Baukalkes. Die Kalkspatkrusten sind stets hell gefärbt, oft ganz weiß oder licht gelblich, und dies auch in unmittelbarer Nachbarschaft der grauschwarzen Gipskrusten. Dieser auffallende Gegensatz beruht wohl darauf, daß sich die Kalkspatüberkrustungen rasch bilden (und dann zur Ruhe kommen), so daß sie nicht Staub und Ruß aufnehmen können, wie dies beim sehr langsam sich bildenden Gips der Fall ist. Die Einzelformen der Kalküberkrustungen weichen auch von denen der Gipskrusten ab, sie zeigen vorzugsweise eng gruppierte, kleine, becherförmige Gebilde, oder sie sind oberflächlich glatt (Fig. 52). Da wo Wasser frei abtropft, treten allgemein Stalaktiten nach Art der Höhlenbildungen auf, wie man sie ja unter allen Stein- und Betonbrücken beobachten kann. Steinschädigende Wirkungen der Kalküberkrustungen, die meist fest mit dem Gestein verbunden sind, wurden nicht beobachtet.

d) Der niedere Pflanzenwuchs auf Bausteinen.

Nach den Beobachtungen von A. Kieslinger sind im innern Stadtbezirk von Wien pflanzliche Bildungen an Bauten nur in ganz spärlichem Maße zu beobachten, er führt dies auf den großen Schwefelsäuregehalt der Luft zurück, der besonders auf Flechten ungünstig einwirkt. In dieser Beziehung verhält sich Zürich z. B. ganz anders. Auch in der Altstadt sind die Steine an den hierfür günstigen Stellen sehr reichlich von niederem Pflanzenwuchs bedeckt. Es handelt sich dabei vorwiegend um Algen und Flechten, untergeordneter um Moose. Die Pflanzen halten sich zumeist an reichlich durchfeuchtete oder feucht bleibende Stellen, wobei oft die unscheinbarsten Umstände imstande sind, einem Algen- oder Flechtenwachstum noch genügende Feuchtigkeit zu verschaffen. Von allem Pflanzen-

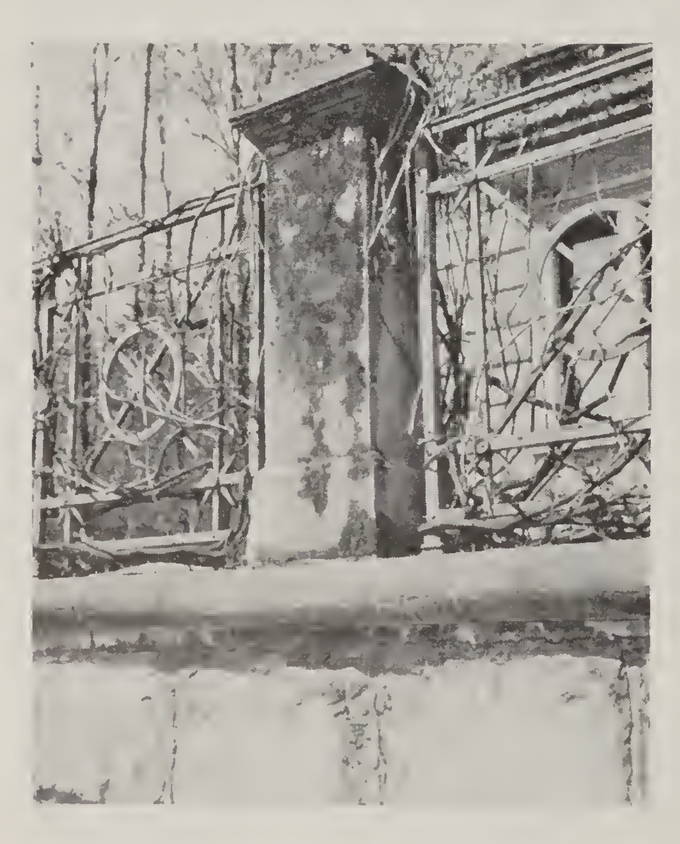


Fig. 53.



Fig. 54.

Fig. 53 und 54. Zwei Pfosten derselben Garteneinfriedigung aus Berner Sandstein. Alter etwa 40—50 Jahre. Der Pfosten links ist stark bewachsen und kaum angewittert, der Pfosten rechts (unter Bäumen) zeigt tiefe Aushöhlungen im Sulfatbereich (Parabelbildung). Bei beiden ist die Abdeckung intakt.

wuchs werden Partien mit Gipskrusten oder Sulfatausblühungen streng gemieden. Bevorzugte Stellen sind einerseits die West- und Nordseite an Bauwerken, anderseits von Bäumen beschattete (aber beregnete) Partien. Alle Mauern mit einem leichten Anzug (Stützmauern) erhalten weit rascher eine Pflanzenbedeckung als senkrechte Mauern (Fig. 4, 9). Steinsockel von Gartenzäunen sind meistens etwas bewachsen. Einige Flechten besiedeln gerne horizontale Flächen von porigen Gesteinen (besonders Muschelkalksteinen und porösen Jurakalken), und zwar auch dann, wenn diese stark besonnt sind. Stets sind die Steinbrüstungen von Brücken stark mit Flechten bewachsen.



Fig. 55. Stützmauer in sehr feuchtem Bereich (Ufer des Schanzengrabens, Zürich), stark bewachsen und gut erhalten. Unter der Abdeckung die üblichen Gipskrusten (dunkel). Im weißen Streifen sind die Krusten abgefallen und es macht sich eine leichte Absandung bemerkbar. Granitische Molasse.

Über die Beziehungen zwischen Pflanzenwachstum und Verwitterungserscheinungen liegen folgende Beobachtungen vor: Da alle die zahlreichen mit Sulfatbildungen zusammenhängenden Abblätterungen und Absandungen pflanzenfrei sind, erscheinen die vegetationsbewachsenen Bauteile ganz allgemein weniger verwittert als die vegetationsfreien. Doch ist hier natürlich die bessere Steinerhaltung in erster Linie eine Folge der Sulfatfreiheit, aber sie beweist doch, daß Flechten und Algen an der Gesteinszerstörung praktisch nicht beteiligt sind. Viele Beobachtungen deuten auch darauf hin, daß die Abschalungen sich unter einer mit Moosen und Flechten stark bewachsenen Steinoberfläche nur langsamer bilden können, bzw., daß die niedern Pflanzen auf einem Stein, unter dessen Oberfläche eine Lockerung vor sich geht, keine günstigen Vegetationsbedingungen vorfinden. Vereinzelte Flechten findet man wohl öfters auf sich abschalenden Steinen, auch die verbreiteten Grünalgen meiden solche Stellen nicht, die Mehrzahl der frischen Schalen ist aber weitgehend vegetationsfrei, soweit dies von Auge feststellbar ist. Umgekehrt sind die auch in Städten zu treffenden (Fig. 55), auf dem freien Lande sehr verbreiteten Objekte, die unter den scheinbar ungünstigsten Bedingungen eine fast unerklärliche Widerstandsfähigkeit gegenüber allen Zerstörungen aufweisen (so z. B. Mauern und Sockel im Bereich starker Grundfeuchte aus normaler granitischer Molasse), gewöhnlich sehr reichlich bewachsen. Eine Ausnahme machen nur offensichtlich unbeständige, rasch von Frost angreifbare Gesteine, bei denen nach starker Frostwirkung ein Zerfall unabhängig von einer Pflanzenbedeckung eintritt. Solche Fälle beobachtet man dann häufiger auf dem Lande, wo reichlich Wasser oft ungehinderter an Bauwerke herantritt und wo man für Mauerungen, Uferschutz, Bachkanalisationen sich Gestein möglichst aus der Nähe beschafft, das dann nicht immer beständig ist.



Fig. 56. Kleine Trockenmauer aus Plattensandstein. Stark bewachsen, gut erhalten.

Als Ganzes läßt sich unbedingt konstatieren, daß die vielfach behauptete schädliche Einwirkung niederer Pflanzen auf Bausteine nicht besteht, vielmehr zahlreiche Anzeichen darauf hindeuten, daß eine starke Bewachsung für den Stein günstig ist.

e) Einwirkungen höherer Pflanzen.

Normalerweise wachsen auf unterhaltenen Hochbauten keine höheren Pflanzen. Verbreitet sind dagegen solche auf Mauerungen im Freien,

um so mehr, je offener die Hohlräume in oder zwischen den Steinen sind (trockene oder unvollständig ververfugte Mauern, Risse und Klüfte aller Art in den Quadern, Löcher im Kalktuff). Gräser und Krautgewächse sind nach allen Beobachtungen kaum je schädlich für einen Stein, der sonst der Feuchtigkeit widersteht. Anders ist es bei den Holzgewächsen, deren Wurzeln mit der Zeit erhebliche Verschiebungen von Steinen oder Sprengungen bewirken können, wie man dies hauptsächlich an trockenen Uferschutzmauern oft beobachten kann. Bisweilen werden Sträucher und kleine Bäume aus malerischen Gründen auf einem Bauwerk belassen, was jedenfalls von Zeit zu Zeit der Kontrolle über eingetretene Schäden bedarf (z. B. Kirchtürme von Malvaglia, und von St-Maurice im Wallis). Bei historischen Ruinen, deren Erhaltung man anstrebt, werden Bäume und Sträucher meist radikal entfernt und die Fugen mit Mörtel verschlossen, in einem Ausmaß, wie dies oft nicht unbedingt nötig wäre.

f) Verschiedene Oberflächenveränderungen.

Nachstehend werden einige allgemeine Ursachen von Oberflächenverfärbungen an Bausteinen aufgeführt. Die normalen, für die verschiedenen Gesteine charakteristischen Altersverfärbungen (Patinabildungen) sind dagegen im Abschnitt 5 zusammengestellt.



Fig. 57. Starke Sockelschalenbildung (fleckige Partien) unter geschwärzter Steinoberfläche. Der große helle Fleck links stellt eine viel dickere normale Abschalung frischen Datums dar. Granitische Molasse.

Schlierige oder streifige, von einem Punkt im Gestein ausgehende Braunfärbungen stammen von größeren Pyrit- oder Markasiteinschlüssen, die meist schon nach wenigen Jahren vollständig oxydiert sind. Verbreitet sind sie z. B. in Muschelkalksteinen; die braunen Schlieren treten anfänglich an fast jeder Fassade auf und müssen nach vollständiger Zersetzung oder Entfernung des Pyrites durch Abschleifen beseitigt werden.

Allgemein sind Braunfärbungen der Sockelsteine von eisernen Gartenzäunen, Kandelabern usw. verursacht durch vom Wasser abgeschwemmte rostende Partikel. Grünfärbungen durch Cu-Salze sind an Postamenten von Bronzemonumenten stets vorhanden.

Steine in Nachbarschaft von Haltestellen oder Gefällsstrecken von Eisenbahnen oder Straßenbahnen werden schon nach kurzer Zeit durch rostende Eisenpartikel, die beim Bremsen von den Schienen abgeschliffen und vom Luftzug mehrere Meter weit verfrachtet werden, tiefrotbraun gefärbt (Gotthardbahn, Haltestelle E. T. H. der Straßenbahn in Zürich).

Die graubräunliche Verfärbung vieler alter, poriger, oder reich gegliederter Steine im Regenschutz beruht auf Staubkrusten. Diese sind stets heller als die Gipskrusten am gleichen Bauwerk.

Dunkle Überzüge an Sockelsteinen. Sehr oft beobachtet man an Sockeln und andern Bauteilen bis zu einer Höhe von höchstens 0,5 — 1 m über dem Boden eine auffällige Braun- bis Schwarzfärbung des Gesteins, die weder von einer Gipskruste, noch von rosthaltigen Lösungen herstammen kann (Fig. 57). Vereinzelte chemische Untersuchungen dieser äußerst dünnen, z. T. fast lackartigen Überzüge weisen auf eine komplexe Zusammensetzung hin, wobei jedenfalls Fe anwesend ist. Diese Überzüge scheinen eine sehr schädliche Wirkung auf die oberste Gesteinspartie zu haben. Sie sind offenbar die Ursache der Seite 18 erwähnten Sockelschalen. Stellenweise möchte man die Hunde dafür verantwortlich machen, anderwärts müssen es andere, noch unabgeklärte Einwirkungen sein.

5. Die Wetterbeständigkeit der wichtigsten Bausteinarten.

Im folgenden wird ein Überblick gegeben über das allgemeine Verhalten der am meisten verwendeten Bausteine gegenüber den Verwitterungsagenzien und über ihre spezifischen Zerstörungsformen. Die Ausführungen dieses und der vorhergehenden Abschnitte ergänzen sich vielfach gegenseitig; in den Abschnitten 2 bis 4 finden sich bereits viele Einzelangaben über das Verhalten der wichtigsten Gesteine, während nachstehend oft noch detailliertere Angaben über Zerstörungsformen usw. angeführt werden. Gewisse Wiederholungen sind bei der systematischen Behandlung nicht zu vermeiden.

a) Die Molassegesteine und verwandte Sandsteine.

Die Molassegesteine bieten das reichste Anschauungsmaterial für Verwitterungsstudien. Die Mehrzahl der Steinbauten im Mittelland besteht bis in die neuere Zeit aus Molasse. Infolge der ununterbrochenen Anwendung seit Hunderten von Jahren, der oft nur mäßigen bis mittleren Beständigkeit (besonders gegenüber Sulfateinwirkungen) und der sehr verbreiteten unzweckmäßigen Verwendung am Bauwerk zeigen sie die Gesteinsveränderungen in ausgezeichneter Weise.

Die Molassebausteine lassen sich wenigen, sich meist recht einheitlich verhaltenden Gruppen zuordnen. Näheres über deren Vorkommen, Petrographie und technisches Verhalten siehe **10**, **12**.

Granitische Sandsteine (Subalpine Molasse, Alter großenteils Aquitan). Auf die allgemeine Neigung zur Schalenverwitterung in größern Städten und auf die Einzelheiten dieser Abschalungen ist eingehend bereits auf Seite 11 f. hingewiesen worden. Daneben treten aber auch die gewöhnlichen Abblätterungen und Absandungen in sulfatreichen Zonen und in Bereichen besonders starker Durchnässung (letzteres in Städten selten) auf. Im Mauerverband an Stützmauern im Freien und an Hochmauern haben sich granitische Sandsteine aber sehr oft während langer Zeit sehr gut gehalten (in Städten 50 bis mehr als 100 Jahre, auf freiem Lande weit länger). Es sei hier noch auf ein Beispiel des ganz verschiedenen Verwitterungsverhaltens der granitischen Sandsteine in ländlichen und städtischen Verhältnissen hingewiesen. Die zahlreichen großen Wegkreuze im Freiamt und anderswo aus granitischen Sandsteinen im Alter von 50 bis 100 Jahren zeigen, obwohl im feuchten Erdreich stehend, meist fast oder gar keine Verwitterungsanzeichen, insbesondere keine Schalenbildung. Der Stein ist oberflächlich geschwärzt und durchweg stark mit Algen und Flechten bewachsen. In Zürich wäre eine solche Beständigkeit an freistehenden Objekten dünner Dimensionen völlig undenkbar (Fig. 58).



Fig. 58. Großes Wegkreuz aus granitischer Molasse, 50 Jahre alt. Trägt starkes Flechtenwachstum, zeigt keine Verwitterungserscheinungen. Bei Muri (Aargau).

Nach den Beobachtungen an Bauwerken und in den Steinbrüchen sind jedoch unbedingt die einzelnen Lagen von sehr unterschiedlicher Beständigkeit (Abweichungen im Verkittungsgrad und Porositätsverhalten). Auch seitlicher Wechsel der Qualität innerhalb einer Bank dürfte verbreitet sein. Einzelne Brüche oder Lagen daraus lieferten ohne Frage ein nicht frostbeständiges Material, das dann auch in erhöhtem Maße den Sulfateinwirkungen unterlag. Andere Steine sind tatsächlich praktisch frostfest. Zur Zeit der Hochkonjunktur Ende des vorigen Jahrhunderts wurde jedenfalls viel geringwertiges Gestein gebrochen, begünstigt durch die höheren Akkordleistungen in diesem „weichern" Material. Diese Steine fanden dann gerade für die Steinmetz- und Bildhauerarbeiten Anwendung, die ohnehin besonders zur Schalenbildung neigen. Die drei Hauptgewinnungsstellen: St. Margrethen, Bollingen-Schmerikon und Ägeri-Lothenbach, enthalten alle Gestein mit prinzipiell gleichem Verhalten und den angedeuteten Unterschieden. Steine mit viel

größerem Kalkgehalt im Bindemittel und bedeutend höherer Festigkeit, wie sie am Buchberg (Obersee) vorkommen, nähern sich in den Eigenschaften den Appenzeller Sandsteinen der subalpinen Zone (s. unten).

Plattensandsteine (Subalpine Molasse, Burdigalien). Diese Sandsteine mit plattiger Absonderung zeigen erhebliche Neigung zur Absandung und Abblätterung, letzteres sowohl senkrecht wie auch





Fig. 59.



Fig. 60.



Fig. 61.

Fig. 59—61. Ungewöhnlich rasch verlaufende Schalenbildung an Platten aus westschweizerischen kalkreichen Sandsteinen. Kunsthaus Luzern. Dicke der Schalen $1/2$ mm. Fig. 59. Beginn der Schalenbildung nach 5 Jahren (1937). Fig. 60. Zustand im folgenden Jahr (1938). Fig. 61. Rasches Weitergreifen der Abschalung (1939).

parallel der Schichtung in allen Bereichen, die normalerweise der Verwitterung ausgesetzt sind. Stellen mit sehr starker winterlicher Durchnässung unterliegen einem schichtweisen Aufspalten durch Frost. Wo besonders schädliche Umstände fehlen (an glattem, gut beregnetem Mauerwerk), sind sie fast ebenso beständig wie die granitischen Sandsteine. An Mauern in Städten, bei denen kein ständiger Feuchtigkeitsstrom nach außen besteht, wird öfters auch echte Schalenbildung beobachtet. Lagerhaftes Versetzen ist bei dieser Gesteinsart besonders wichtig. Stärkere Abblätterungen an den dafür exponierten Bauteilen machen sich in Städten oft schon nach 10 bis 20 Jahren bemerkbar, auf dem Lande wesentlich später. Mauerwerk in günstiger Exposition und Umgebung hält oft 50 bis 100 Jahre gut. Die einzelnen Schichten innerhalb der meisten Steinbrüche sind in der Beständigkeit je nach der mehr oder weniger ausgesprochenen Lagentextur etwas verschieden. Zwischen dem Material der einzelnen Steinbruchgebiete: Rorschach-Stad, Bäch, Rooter Berg-Luzern, besteht wohl kein prinzipieller Unterschied.



Fig. 62. Typische dünne Schalenbildung an Pflastersteinen aus kalkreichen Sandsteinen der subalpinen Molasse. Bahnhof Martigny.

Verwandte Sandsteine der Umgebung von Lausanne (molasse grise) zeigen an den alten Bauten daselbst (Schloß, Kathedrale, St-François) starke Zerstörungen (z. B. Fig. 37), die bei dem hohen Alter unter städtischen Verhältnissen nicht verwunderlich sind. Da die Steine schon seit langer Zeit nicht mehr benützt werden, fehlen Beobachtungen an frischerem Material.

Kalkreiche Sandsteine (Subalpine Zone, Stampien). Sowohl die kalkreichen Sandsteine der Ostschweiz (sog. Appenzeller Sandsteine), wie die wenig abweichenden Formen der Westschweiz (Attalens, Bouveret) werden an Hochbauten meist nur als Schichten- oder Spitzsteinmauerwerk verwendet und sind allgemein in dieser Anwendung, wenn nicht besonders ungünstige Umstände vorliegen, viele Jahrzehnte bis mehr als 100 Jahre sehr beständig. Die Verwitterungsformen bestehen auch bei diesen Sandsteinen in Absandungen, Abblätterungen und gelegentlicher dünner Schalenbildung, doch hat man wenig Gelegenheit, fortgeschrittenere Stadien zu studieren. Die wesentlich feiner gekörnten, etwas glimmerführenden kalkreichen Sandsteine des Zuges Corbières—Vaulruz (Stampien) sind offenbar von sehr unterschiedlicher Beständigkeit. In der Literatur wird verschiedentlich ihre gute Wetterfestigkeit hervorgehoben. Beobachtungen an neuen Objekten aus Sandsteinen dieser Vorkommen (Echarlens) zeigen aber kein gutes Verhalten. So sind z. B. die Fensterbänke der neuen Landesbibliothek in Bern bereits durchgehend rissig und zeigen Aufblätterungen (nach 15 Jahren), in wenigen Jahren werden sie zerstört sein. Ferner zeigten die Verkleidungsplatten des Kunsthauses Luzern (1932) aus westschweizerischen kalkreichen Sandsteinen schon nach wenigen Jahren an zahlreichen Stellen eine eigentümliche, rasch fortschreitende Schalen- bis Beulenbildung (Fig. 59—61). Die Ursache dieser besonders schnell verlaufenden Erscheinung konnte noch nicht völlig geklärt werden. Bei Anwendung der kalkreichen Sandsteine als Pflastersteine, Schalensteine, Randsteine und Sockelverkleidungen sind ebenfalls schon mehrfach ziemlich rasch einsetzende Verwitterungserscheinungen beobachtet worden, in Form dünner

Abschalungen, die sich in rascher Folge mehrfach untereinander wiederholen können. Die ziemlich starke Verbreitung dieser Zerstörungsform, besonders in der Westschweiz, aber auch im Verwendungsgebiet der Appenzeller Sandsteine zeigt, daß die Steine der verschiedensten Einzelvorkommen Neigung zu dieser Abwitterungsart, die sich offenbar nach 20 bis 40 Jahren bemerkbar macht, aufweisen (Fig. 62).

Muschelkalksteine oder Muschelsandsteine (flache und subalpine Molasse, Burdigalien). Die Widerstandsfähigkeit der Muschelkalksteine gegenüber der Verwitterung ist wesentlich vom Reichtum an Muschelschalen abhängig, was sich im Gehalt an Kalkspat (bei den abgebauten Steinen etwa 60—95 %) ausdrückt. Steine mit mehr als 75 % $CaCO_3$ sind an Hochbauten sehr widerstandsfähig,



Fig. 63. Nationalbank, Zürich, Westseite. Muschelkalkstein über Granitgneissockel. Auch im Grundfeuchtebereich zeigen sich keine Verwitterungserscheinungen (Regenseite).



Fig. 64. Nationalbank, Zürich, Nordseite. Schichtige Anwitterung des Muschelkalksteins unmittelbar über dem zu wenig hohen Sockelstein.

sofern nicht besonders ungünstige Umstände vorliegen. Besonders gut halten sich alle stark beregneten Teile, auch vielseitig der Luft ausgesetzte Steine kleiner Dimensionen. In Städten können an besonders dazu exponierten Bereichen im Zusammenhang mit intensiver Gipskrustenbildung Abblätterungen durch Sulfateinwirkungen auftreten, verstärkt an Gesteinen mit geringem Muschelgehalt. Schalenbildung ist sehr selten und nur an sandreicheren, kalkärmeren Steinen zu beobachten (Fig. 18). Die ziemlich verbreitet auftretenden dünnen, sandigen Einschaltungen (teils horizontal, teils schräg zum Lager) wittern relativ rasch heraus und verstärken die schichtige Struktur der Gesteinsoberfläche, was im Anfangsstadium zur lebendigen Wirkung des Materials beiträgt, bei größerem Ausmaß aber doch zu Schäden führt. In Städten sollte Muschelkalkstein dem Grundfeuchtebereich vollständig entzogen werden an Stellen, die nicht regelmäßig beregnet sind (wetterabgewendete Seite, Fig. 63, 64). Unter günstigen Umständen, besonders außerhalb rauchgasreicher Regionen, sind stark mit Flechten bewachsene Wegkreuze, Monumente, Brunnenschalen, Mauerungen aus Muschelkalkstein Jahrhunderte gut erhalten geblieben. Sehr zu empfehlen wäre bei wertvollen Plastiken in Städten ein regelmäßiges Abspritzen der nicht beregneten Teile, die sich schon nach kurzer Zeit durch den Ansatz der Gipskrusten hervorheben. Die Unterschiede der petrographisch etwas abweichenden Gesteine der Hauptbrüche (Staad [Seelaffe], Würenlos, Mägenwil-Othmarsingen, Estavayer) in bezug auf Wetterbeständigkeit

ist gering, geringer als zwischen den einzelnen Lagen innerhalb eines Vorkommens. Die Farbe gibt keinen eindeutigen Hinweis auf Kalkgehalt und damit auf die Haltbarkeit, die gelben Steine sind vielleicht im ganzen etwas kalkreicher als die blauen (d. h. blaugrünlichen). Die ziemlich verbreiteten Pyriteinschlüsse können Roststreifen erzeugen; bei Monumenten ist sehr darauf zu achten.

Randengrobkalk (Helvétien). Diese löcherige, vorwiegend aus Schneckenschalen bestehende Kalkbrekzie, die nur ganz lokal im nördlichen Kanton Schaffhausen ausbeutbar auftritt, galt seit alters als wetterfestes Baumaterial. Aus sulfatreichen Bereichen in Städten kann keine eigene Beobachtung mitgeteilt werden. Am 80 Jahre alten Kirchturm in Andelfingen zeigen die Quader aus Grobkalk keine Verwitterungserscheinungen.

Berner Sandsteine (Burdigalien) und verwandte Sandsteine der flachen Molasse. Die Berner Sandsteine zeichnen sich besonders durch eine sehr große Sulfatempfindlichkeit aus. Überall, wo Sulfate



Fig. 65. Oberflächliche Auflockerung, verbunden mit leichter Krustenbildung, an Berner Sandstein in ganz geschützter Lage (Inneres der Vorhalle). 15. Jahrhundert. Berner Münster.

sich anreichern, tritt sofort ein intensives Absanden ein (Fassaden, Fensterbänke, Unterseite von Ornamenten aller Art, seitlich Wasserablaufstellen usw., Fig. 12, 34, 54). Dazu sind diese Sandsteine auch ziemlich frostgefährdet und sanden auch dadurch ab an Stellen, die im Winter eine Wasserstauung erleiden (Fig. 36). Auch Schalenbildung läßt sich öfters beobachten unter ähnlichen Umständen wie bei den granitischen Sandsteinen (Fig. 31). Vielfach setzt ein Absanden schon nach wenigen Jahren ein. Trotzdem können Berner Sandsteine, richtig angewendet, sehr beständig sein. Die glatten Mauern (aus lagerhaft versetzten Hausteinquadern), ohne zusätzliche Wassereinsickerungen und ohne Möglichkeiten der Wasserstauung, sind schon in Städten, vor allem aber auf dem freien Lande überaus beständig. Ein gutes Beispiel bietet die Tiefenaubrücke bei Bern (1851/53). Unter dem vortretenden Gesimse (aus Kalkstein) sanden die Quader allerdings vielfach ab, im Zusammenhang mit starken Ausblühungen, die durch Wassereinsickerungen aus der Fahrbahn entstanden sind. Die übrigen Teile (glatte Mauern, sowie die Stützpfeiler mit Anzug, ein starkes Flechtenwachstum tragend) sind sehr gut erhalten, großenteils völlig intakt. Sogar die Steine im Grundfeuchtebereich sind wenig angegriffen. Bei wasserundurchlässiger Abdeckung ohne Gesimse hätte die Brücke in fast 100 Jahren kaum Schäden erlitten (Fig. 66). Als weiteres Beispiel sei der Viadukt von Grandfey bei Fribourg erwähnt (errichtet 1858/62), dessen große Pfeiler aus Berner Sandstein der Umgebung sich beim Umbau der Brücke 1925 als noch in so gutem Zustande erwiesen, daß sie großenteils unverändert belassen

werden konnten. Verhältnismäßig gut hat sich ebenfalls unter weit ungünstigeren städtischen Verhältnissen die nun 100 Jahre alte Nideckbrücke in Bern gehalten, immerhin sind die Absandungen weit erheblicher als bei der Tiefenaubrücke. An Fassaden oder Steinarbeiten, die ganz vor jeder Feuchtigkeit geschützt sind, tritt in Städten mit der Zeit eine leicht oberflächliche Lockerung, verbunden mit einem geringfügigen Absanden und Abblättern, ein (Fig. 65), das erst nach Jahrhunderten stärker störend ist. Die Steine der einzelnen Brüche der Umgebung von Bern und Fribourg zeigen erhebliche Unterschiede in der Beständigkeit. Die blauen Steine sind meist beständiger als die gelben; die feinkörnigen (in der Regel auch festeren) Lagen enthalten das beste Material.

Die früher etwa verwendeten, sehr karbonatreichen Sandsteine der Obern Süßwassermolasse der Ostschweiz sind in der Hauptmasse sicher unbeständig. Als Ausnahmefall haben sich die vermutlich vorzugsweise aus festeren kalkreichen Knauern in Sandsteinhorizonten der Umgebung von Hausen a. Albis gebrochenen Steine an glatten Mauern der Kirche von Kappel (14./15. Jahrh.) auffallend gut gehalten, wohl dank der rein ländlichen Lage und sorgfältigen Steinauswahl.



Fig. 66. Tiefenaubrücke Bern. Abgesehen von den Partien unter dem Gesimse (mit Ausblühungen und Absandungen) ist das fast 100 Jahre alte Bauwerk aus Berner Sandstein gut erhalten. Besonders intakt ist die Mauerpartie mit Anzug (stark bewachsen) links.



Fig. 67. Schöne Schalenbildung an Schilfsandstein (Keuper). Münster Schaffhausen. Die Steine stammen vermutlich von der Renovation von 1854.

Appenzeller Granite (Flache Molasse, Tortonien). Die gut verfestigten Schichten dieser feinkörnigen Kalkkonglomerate der Ostschweiz weisen eine große Beständigkeit auf gegen Frosteinflüsse. Über ihr Verhalten gegenüber Sulfateinwirkungen liegen keine Beobachtungen vor.

Triassandsteine des Tafeljuras. Die Schilfsandsteine des Keupers verhalten sich trotz abweichender Zusammensetzung (weit geringerem Karbonatreichtum im Bindemittel) in bezug auf Wetterbeständigkeit und Verwitterungsformen ähnlich wie Molassesandsteine. Sie zeigen Absandungen im Sulfatbereich und auch sehr schöne Schalenbildungen (Münster, Schaffhausen, in Material von Schleitheim, Fig. 67). Zur Festlegung der Raschheit der Zerstörungen fehlen

genügend Beobachtungen, da diese Sandsteine nur selten angewendet werden. Die Sandsteine der Untern Trias (Buntsandstein) haben in großem Umfange nur in Basel Verwendung gefunden. Ihre Verwitterung läßt sich hier an zahlreichen Bauten vom Mittelalter bis ins 19. Jahrhundert studieren. An den ältern Bauwerken beobachtet man vorwiegend den hellroten bis streifig gelblich-rötlichen, grobkörnigen Hauptbuntsandstein mit der oft typischen Kreuzschichtung (Münster, St. Martin, Barfüßerkirche). Das Verhalten dieser Steine war sicher ungleich, wie Renovationen mit anderem Material zeigen. Die Tatsache aber, daß viele Mauerteile ohne tiefergreifende Zerstörungen (wenn vielleicht auch teilweise überarbeitet) die Jahrhunderte überdauert haben, unter den sich verschlechternden atmosphärischen Verhältnissen der Großstadt, zeigt doch die vielfach gute Beständigkeit des Materiales an. Typisch ist für den Hauptbuntsandstein das schichtige Absanden mit schöner und recht malerisch wirkender Herausarbeitung der Gesteinsstruktur. Im Grundfeuchtebereich sind auch echte Schalenbildungen zu beobachten. Die Steine der ältern Bauten stammten wohl zur Hauptsache aus dem Wiesental zwischen Lörrach und Schopfheim, und von Degerfelden. Im 18. und 19. Jahrhundert wurde der homogenere, feinkörnigere, dunkelrote bis violettrote, leichter bearbeitbare Plattensandstein (Oberer Buntsandstein) bevorzugt. Am Münster ist z. B. der Kontrast zwischen den beiden Sandsteinvarietäten sehr auffällig. Der Plattensandstein ist offensichtlich großenteils von nur mäßiger Beständigkeit. Vor allem zeigen die dünnplattigen Abarten häufig an Gesimsen und Sockeln ein Aufspalten und Aufblättern längs glimmerreichen Lagen (ähnlich der Plattenmolasse). Auch Absandungen und typische Schalenbildungen (letzteres mehr an den homogenen Steinen) sind zu sehen. Es ist in neuerer Zeit vielfach üblich geworden, die Steine mit Farbe zu überstreichen, was aber der Verwitterung nur temporär Einhalt gebietet. Oft bemerkt man, wie die Farbe wieder abblättert und die Zerstörungen des Gesteins darunter weitergeschritten sind. Nach Mitte des 19. Jahrhunderts wurden auch Main- und Vogesensandsteine (Mittlerer und Oberer Buntsandstein) verwendet, auch in Zürich; über ihr Verhalten liegen keine Beobachtungen vor.



Fig. 68. Der rote Plattensandstein der Untern Trias blättert an Gesimsen oft schichtig auf (trotz Farbanstrich). Hebelstraße, Basel.

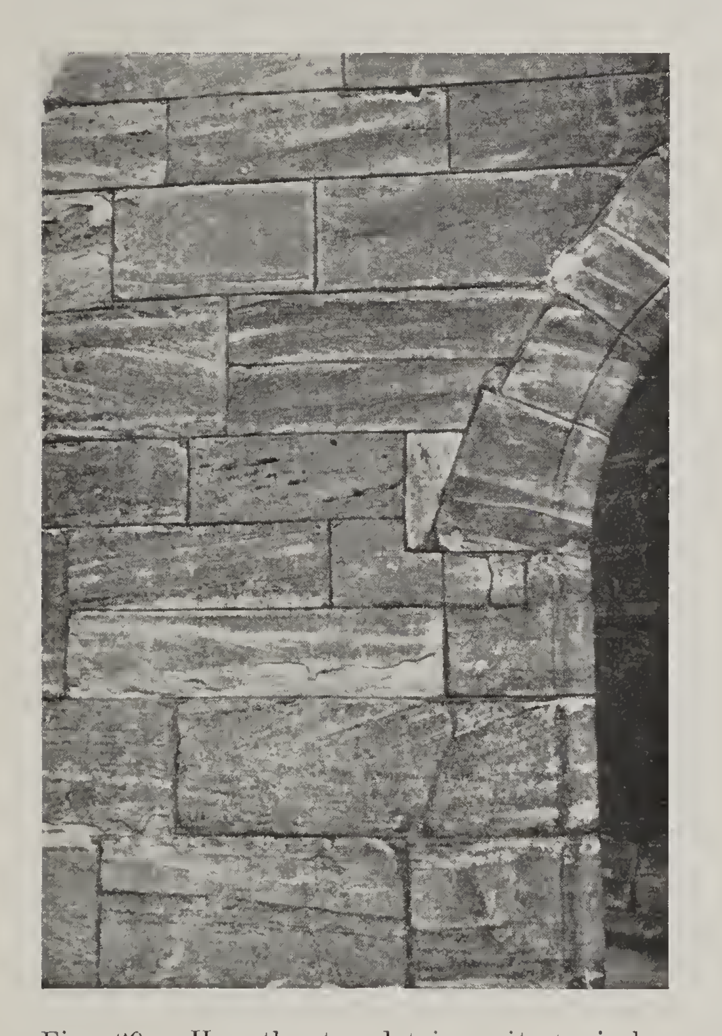


Fig. 69. Hauptbuntsandstein mit typischer schichtiger Anwitterung, die charakteristische Gesteinsstruktur hervorhebend. Chorpfeiler am Basler Münster.

b) Die Kalksteine aus Juragebirge und Alpen.

Die als Bausteine verwendeten Kalke lassen sich nicht wie die Molassegesteine in wenige, sich in Beschaffenheit und Eigenschaften ziemlich einheitlich verhaltende Gruppen einordnen. Trotz der chemisch nicht sehr variablen Zusammensetzung gehören die Kalksteine zu den am verschiedenartigsten sich verhaltenden Gesteinen. Schon sehr geringfügige Beimengungen, Strukturunterschiede, Inhomo-

genitäten können von großem Einfluß auf die Beständigkeit sein. Die für die Wetterfestigkeit wesentlichen Eigenschaften wechseln nicht nur im großen (nach den stratigraphischen Horizonten), sondern weit mehr als bei den Molassegesteinen von Bank zu Bank innerhalb eines Vorkommens (Steinbruches). Die Mannigfaltigkeit wird noch vermehrt durch die raschen seitlichen Faziesunterschiede vieler Horizonte. Zudem sind die Gewinnungsstellen in Kalksteinen weit zahlreicher (besonders im Juragebirge), allerdings vorwiegend nur von lokaler Bedeutung und viefach in letzter Zeit für Hausteinzwecke nicht mehr benützt. Es war im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich, das Verhalten all der aus den zerstreuten und oft unbedeutenden Vorkommen stammenden Materialien an einzelnen Bauwerken zu studieren. Es werden deshalb in erster Linie die allgemeinen Umstände erörtert, die für die Wetterbeständigkeit unserer Kalksteine bedeutsam sind; anschließend folgen dann einige Angaben über das Verhalten der bekanntesten Kalksteinsorten aus Jura und Alpen. Auch hier sei für nähere petrographische Angaben und Vorkommen usw. auf die frühern Publikationen hingewiesen (**10**, **12**).



Fig. 70. Charakteristische Tonhäute in Jurakalkstein (Portland). Bibliothek Neuchâtel.

Allgemeines über die Beständigkeit der Kalksteine.

Für die Beurteilung der Kalksteine auf Wetterbeständigkeit sind besonders die folgenden Umstände zu beachten:

1. Gehalt an Tonmineralien (Mergelgehalt). Ein Verdacht auf Mergelbeimengung ist hauptsächlich bei den sehr feinkristallinen (kryptokristallinen oder dichten) Kalken gerechtfertigt. Auch im positiven Falle braucht das Gestein nicht unbedingt als völlig wetterunbeständig beurteilt zu werden. Ein schwacher allgemeiner Mergelgehalt führt, wenn die Steine vor einer Frostperiode gut ausgetrocknet sind, an Hochbauten ohne intensivere Durchnässung durchaus nicht in kurzer Zeit zu Schäden. Ungünstiger ist es, wenn eine Anreicherung der Tonmineralien in Lagen erfolgt ist, längs denen dann leicht ein Aufspalten erfolgt. Fleckige Verteilung der mergeligen Partien in reinem Kalkstein (Fig. 74), wie sie ziemlich häufig ist (Fleckenkalke), ist nach Austrocknung nicht besonders ungünstig. Zu vermeiden sind die mergeligen Kalksteine dagegen im Bereich der Grundfeuchte, wo schon eine Beimengung an Tonmineralien von wenigen Prozenten rasch zu Schäden führt. Gewisse Vorteile bieten leicht mergelige Kalksteine gegenüber den ganz reinen, sehr feinkristallinen insofern, als sie etwas weniger spröde sind und damit die auf diese Eigenschaften zurückzuführenden Risse beim Bearbeiten zurücktreten. Vermutlich geht die Frostzerstörung bei Mergelkalken von feinen Rissen aus, die durch das Quellen und Schwinden der Tonmineralien primär hervorgerufen wurden. Ein erheblicher Teil der dichten Malmkalke des Juragebirges ist mehr oder weniger mergelig.

2. Auftreten von Tonhäuten und Suturen. Beide Erscheinungen, deren Entstehung hier nicht diskutiert werden soll, finden sich bei den Jurakalken oft massenhaft, indessen auch innerhalb einer äußerlich ziemlich homogenen Schichtfolge von bankweise stark wechselnder Intensität. Sie sind nicht an Kalksteine bestimmter Struktur gebunden, sie treten somit bei dichten, spätigen und oolithischen Kalken auf. Im Juragebirge ist das Material der Tonhäute meist noch erweichbar, auch die Suturen enthalten öfters noch einen eigentlichen dünnen Tonbelag. Bei den alpinen Kalksteinen ist zumeist schon eine Tonschieferhaut vorhanden, die keine Erweichbarkeit im Wasser mehr zeigt. Suturen sind in den Alpenkalken infolge der größeren Umlagerungen meist schon recht verwischt. In erster Linie bilden die Tonhäute und Suturen eine mechanische Schwächung des Gesteins und sind

oft bei feinen Steinarbeiten die Ursache von Beschädigungen, die mit Verwitterung verwechselt werden. Bei Platten führen sie oft zum Bruch. Immerhin brauchen sie auch nicht allzu streng beurteilt zu werden, besonders die stark zackigen Suturen halten oft überraschend gut. Beide Erscheinungen begünstigen mehr oder weniger rasch, je nach Wassertränkung, ein Aufspalten des Gesteins oder einen bröckeligen Zerfall durch Frosteinwirkung. In Städten wirken jedenfalls auch die Sulfate an den Zerstörungen mit. In der Regel beobachtet man erheblichere Verwitterung durch Ausbröckeln (bei sonst beständigem Steinmaterial) nach etwa 40 bis 100 Jahren, rascher natürlich bei mergeligen Kalken. Sehr ungünstig macht sich bei Gesteinen mit vielen Tonhäuten das Stellen auf den Spalt bemerkbar (Fig. 32). Nicht immer ist die Lockerung sofort mit einem Zerfall verbunden; besonders an Bauten, die jeglicher menschlicher Einwirkung entrückt sind und aus massiven Quadern bestehen, hält das gelockerte Gestein oft noch Jahrzehnte bis Jahrhunderte zusammen. Erst bei Restaurationsarbeiten zeigt sich die tiefreichende Lockerung der Quader.



Fig. 71. Ausbröckelung längs feinsten Haarrissen an kompaktem, aber sprödem Malmkalkstein des Juras. Frostwirkung.

Bei Mauerungen aus Kalksteinen mit Suturen oder Häuten ohne dichte Tonfüllung (oder deren Belag ausgeschwemmt ist), oder mit Rissen, kann beobachtet werden, daß bei Schlagregen Wasser durch den Stein gepreßt wird, das dann im Gebäudeinnern Schäden verursachen kann. Dies war z. B. der Fall bei der neuen Kirche in Fontenais bei Pruntrut, die stark den Regenwinden ausgesetzt ist. Die Westfassade, in Schichtenmauerwerk aus einem sonst guten spätigen Kalkstein des Doggers, ließ nach Weststürmen ziemlich viel Wasser durch.

3. Bildung von feinsten Haarrissen. Die homogenen, sehr feinkristallinen (dichten) Kalksteine sind sehr spröde Gesteine und erhalten beim Gewinnen (durch brisante Sprengstoffe), aber auch beim Bearbeiten mit dem Spitz- und Stockhammer leicht feinste, anfänglich fast unsichtbare Risse. Weit weniger spröde sind die im Korn sehr wechselvollen, fossilreichen, besonders spätigen und oolithischen Kalke; auch eine Porosität setzt die Sprödigkeit herab. Die Kalksteine mit feinen Haarrissen erleiden mit der Zeit einen Frostzerfall in Bröckelform, wobei besonders die unregelmäßigen, scharfkantigen Stücke charakteristisch sind (Fig. 71). Eine solche Zerbröckelung (die natürlich oft mit einem Zerfall längs Tonhäuten usw. kombiniert ist) kann sich an stark durchfeuchteten Stützmauern im Freien bei dichten Jurakalken nach etwa 30 bis 60 Jahren stärker bemerkbar machen, wie dies zahlreiche Stützmauern in Zürich aus der Zeit von 1890 bis 1910 dartun.

4. Klüfte tektonischen Ursprungs. Solche sind im Juragebirge eher untergeordnet, in den tektonisch stärker beanspruchten Alpen dagegen weit verbreitet. An Bausteinen kommen sie als Zerstörungsursachen wenig in Betracht, da ihr reichlicheres Auftreten die Verwendung eines Vorkommens als Baumaterial ohnehin verunmöglicht. Die mit Kalkspat verheilten tektonischen Klüfte, die in den Alpen auch an vielen Bausteinvorkommen ganz gewöhnlich sind (weiße Adern), schwächen den Stein mechanisch etwas (bei Bausteinen meist belanglos), geben aber kaum Veranlassung zur Zerstörung unter Witterungseinflüssen.

Ein gut verfestigter Kalkstein ist sowohl bei feinkristalliner, wie bei spätiger Struktur an sich sehr beständig. Die Spatkalke bieten außer der geringen Sprödigkeit den Vorteil, daß sie fast immer frei von Tonmineralien sind. Bei den reinen Oolithkalken ist der Verband zwischen den oberflächlich glatten Ooiden (mit feinkristalliner Innenstruktur) und der meist grobkristallinen Grundmasse nicht durchweg sehr fest, so daß bei Oolithen ein absandungsartiger Zerfall beobachtet wird. Ebenfalls zum Absanden neigen schwach verfestigte kreidig-erdige Kalke, wie sie als Bausteine bei uns wenig verwendet werden. Rundlich geschlossene Hohlräume, wie sie verschiedene Kalke aus dem Juragebirge, besonders solche mit spätiger Struktur, aufweisen, beeinträchtigen die Wetterbeständigkeit in keiner



Fig. 72. Die mächtigen Quader aus Solothurner Kalkstein sind stark rissig und auf Spalten vegetationsbewachsen. Ohne Eingriffe hält das 400 Jahre alte Mauerwerk noch gut zusammen. Solothurn.

Weise. Im Gegenteil wirken sie günstig durch Verminderung der Sprödigkeit. Zu den wetterfestesten Gesteinen überhaupt gehören die gut verfestigten groblöcherigen Kalktuffe.

Verhalten der wichtigsten Kalksteinsorten: Jurakalke.

Kalksteine von Solothurn. Die Kalksteine der Brüche nördlich Solothurn (Kimmeridgien) bieten das beste Beobachtungsmaterial von allen schweizerischen Kalkvorkommen, weil sie schon seit Jahrhunderten in größerem Maßstabe verwendet werden. Sie lassen besonders den Bröckelzerfall längs Tonhäuten und Suturen gut studieren, ferner sind sie ein gutes Beispiel für die wechselvolle Beschaffenheit der einzelnen Bänke innerhalb einer Gesamtmächtigkeit von nur einigen zehn Metern (Fig. 2). Gewisse Bänke sind außerordentlich reich an Tonhäuten, auf den Zentimeter trifft es ihrer bis zu fünf, in andern sind sie dagegen durchaus spärlich, wobei hier die Suturen etwas mehr hervortreten (Fig. 73). Einige Lagen sind ziemlich pyritreich. Die meisten der bekannten großen Brunnenbecken aus Solothurner Stein stammen aus der gleichen, an Tonhäuten und Suturen relativ armen Bank. Sie verhalten sich deshalb ziemlich gleichartig und günstiger als im Durchschnitt die Mauersteine, die aus zahlreichen Bänken von wechselnden Eigenschaften gewonnen wurden. Im allgemeinen machen sich erheblichere Abbröckelungen an Brunnenbecken aus Solothurner Stein unter städtischen Verhältnissen nach 100 bis 200 Jahren bemerkbar (z. B. Brunnen in Solothurn, Basel und Bern), ganz gute Steine halten auch länger. Allerdings wirken hier auch Beschädigungen von Menschenhand mehr oder weniger mit. Die heterogeneren Mauerungen lassen an einzelnen Steinen meist nach etwa 50 bis 100 Jahren erheblichere Schäden erkennen. Die 1763/73 erbaute St.-Ursen-Kathedrale in Solothurn wies z. B. bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts zahlreiche Verwitterungsanzeichen auf, die sich dann bis zur Gesamtrenovation 1916/22 stark häuften. Die mächtigen Quader der im 16. Jahrhundert erbauten Festungstürme in Solothurn sind oberflächlich intensiv von Rissen durchsetzt und stark bewachsen, doch hält die Steinmasse noch merkwürdig gut zusammen und es dürfte dies ohne gewaltsame Eingriffe noch längere Zeit der Fall sein. Nicht sehr zweckmäßig ist die Verwendung von Solothurner Stein als Bodenbelag im Freien, es treten hier öfters rasch Frostausbrüche längs Tonhäuten auf, wie z. B. im Kunstmuseum Basel.

Laufener Kalksteine. Die seit den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts in größerem Maßstabe in Laufen und Umgebung, sowie in Brislach abgebauten grobolithischen Kalke der Sequanstufe zeigen ein ähnlich unterschiedliches Verhalten wie die Solothurner Steine. Auch bei ihnen zeichnen sich die verwerteten Bänke durch einen sehr wechselnden Gehalt an Tonhäuten aus, die hier meist sehr dünn sind und erst bei der Anwitterung stärker auffallen. Die 40 bis 60 Jahre alten Hochmauern aus lagerhaft versetzten Quadern, die nicht unter besonders ungünstigen Umständen stehen, sind heute zum weitaus größten Teil noch ohne nennenswerte Verwitterungserscheinungen, auch dann, wenn



Fig. 73. Brunnenbecken aus Solothurner Stein von 1780. Nur an der untersten Partie erheblicher angegriffen, wohl weil beim Werkstück die gesunde Bankdicke überschritten wurde.

sie häufiger durchfeuchtet werden (viele Bauten in Basel). Zahlreiche Beschädigungen findet man dagegen an Steinen genannten Alters, bei denen ein Aufspalten parallel der Tonhäute möglich ist, besonders bei solchen die auf dem Spalt stehen (Pfosten, Sockelverkleidungen, Fig. 32). Auch vorragende Gesimse aus Steinmaterial mit reichlich Tonhäuten zeigen in Städten (z. B. am Bundesbahnhof in Basel) auf der Ober- und Unterseite zum Teil beträchtliche Ausbröckelungen. Verzierungen in sulfatreichen Bereichen (Unterseite von Vorsprüngen) beginnen ebenfalls nach etwa 30 bis 40 Jahren zu verwittern. Nicht bewährt haben sich diese oolithischen Kalke mehrfach bei Uferpflästerungen, auch Randsteine zerfielen relativ rasch, wobei noch mechanische Einwirkungen mitverantwortlich sein dürften. Es wird angegeben, daß die Steine der früher lebhaft abgebauten Brüche von Brislach (heute verlassen) sich im allgemeinen als von geringerer Beständigkeit erwiesen als das Material von Laufen selbst. Da oft an Bauwerken Steine von beiden Abbaustellen verwendet wurden und eine Unterscheidung am Bauwerk nicht möglich ist, läßt sich ein Qualitätsunterschied nicht mehr feststellen.

Kalksteine der Lägern (Dielsdorf). Die ebenfalls seit 1870 in Zürich und der weitern Umgebung massenhaft verwendeten Lägernkalke (Wettinger Schichten des Kimmeridgien, Wangener Schichten des Sequan) zeigen eine ziemlich unterschiedliche Beschaffenheit. Die Wettinger Schichten bestehen aus sehr feinkristallinen, sehr reinen und dadurch spröden, schon am Fels rissigen Kalken mit geringem Gehalt an Tonhäuten und Suturen. Die Wangener Schichten sind ebenfalls feinkristallin, teils rein, teils etwas mergelig; sie sind lagerhafter als die schlecht gebankten Wettinger Schichten. Die Lägernkalke werden weit vorwiegend als Spitzstein- oder Bossenquadermauerwerk an Gebäudesockeln und Stützmauern verwendet. In stark durchnäßten Bereichen kann man nach etwa 30 bis 50 Jahren mehr oder weniger erhebliche Ausbröckelungen beobachten, teils längs unregelmäßigen Rissen (Wettinger Kalke, Fig. 71), teils mehr der Schicht nach, längs Tonhäuten oder mergeligeren Lagen (Wangener Schichten). Beispiele finden sich in Zürich verschiedene, so weist z. B. die Stützmauer am Physikgebäude der E. T. H., 1887/90, Abbröckelungen auf, die allerdings bei gespitzten Steinen nicht sehr störend sind. Andere Stützmauern, wie die an der Weinbergstraße, zeigen nach mehr als 50 Jahren kaum Schäden.

Im Prinzip ähnlich wie die Lägernkalke verhalten sich viele der dichten Malmkalke des östlichen Juras, wobei im einzelnen die Qualität stark vom Mergelgehalt abhängig ist. Zu den weniger beständigen gehören die wegen ihrer guten plattigen Absonderung zu Mauerungen viel verwendeten Plattenkalke (Portlandien) von Schaffhausen und Umgebung, die etwas unterschiedlichen, aber vorwiegend erheblichen Mergelgehalt aufweisen.

Malmkalke des westlichen Juras. Im schweizerischen Juragebiet westlich Biel sind in größerem Maßstabe hauptsächlich Kalksteine der Portlandstufe gebrochen und weiter herum versandt worden. (Steinbrüche in Biel, Neuveville, St-Imier, Umgebung von La Chaux-de-Fonds, Cernier (Vue des Alpes), Umgebung von Neuchâtel, vereinzelt auch im Waadtländer Jura). Diese Portlandkalke sind in der Hauptsache dichte, splittrig brechende Gesteine, teils sehr rein, teils etwas mergelig, oft durch gelblich-bräunliche Flecken ausgezeichnet. Sie enthalten meist die üblichen, hier vorwiegend sehr dünnen welligen Tonhäute. Wie anderswo wird auch hier die Gesteinsqualität von Bank zu Bank eines Bruches stärker schwanken als von Bruch zu Bruch, im großen ganzen dürfte die Beständigkeit etwa derjenigen der Malmkalke des östlichen Juras entsprechen. Systematische Beobachtungen über das Verhalten der einzelnen Vorkommen konnten nicht durchgeführt werden. Besichtigungen in Neuchâtel zeigten, daß die hier viel verwendeten Portlandkalke (für Sockelmauerungen, Treppen usw.) im allgemeinen eine gute Beständigkeit zeigen. So sind z. B. die Mauerquader der Bibliothek (1830) gut erhalten, die vorragenden Gesimse zeigen einige Ausbröckelungen. Erheblichere Abbröckelungen wurden an verschiedenen Steinen aus Portlandkalk an der Dreifaltigkeitskirche in Bern festgestellt (aus den 90er Jahren).

Dichte Malmkalke des Departements Ain. In Genf und Lausanne, vereinzelt auch anderwärts, wurden früher in größerem Umfange sehr feste, kompakte, zu den größten Werkstücken verarbeitbare Kalksteine aus dem benachbarten französischen Juraabschnitt verwendet (z. B. von Ville-

bois, Hauteville u. a.). Diese sind zum Teil als Mergelfleckenkalke entwickelt: in einer sehr kompakten, zur Hauptsache feinkristallinen Kalkmasse mit wenig Tonhäuten finden sich mehr oder weniger zahlreiche unregelmäßige Partien eines etwas mergeligen Kalksteins. Am frischen Fels sind diese Teile wenig sichtbar. In sehr feuchten und sulfatreichen Bereichen wittern diese Mergelkalkpartien etwas zurück (durch einen absandungsartigen Zerfall). Sofern die Flecken nicht zu zahlreich sind, resultiert daraus keine erhebliche Schädigung. In verschiedenen Steinen hängen die Mergelkalkpartien aber teilweise zusammen, was dann zum Zerfall des Steines führt. Oft beobachtet man an noch unverwitterten Steinen, daß die Mergelkalkpartien ein Flechtenwachstum tragen, die reine Kalkmasse nicht. Dadurch treten die Flecken sehr deutlich hervor. Im großen ganzen sind diese Kalke von guter Beständigkeit. 50 Jahre alte Sockel weisen in der Hauptsache noch keine erheblichen Schäden auf (Fig. 74).

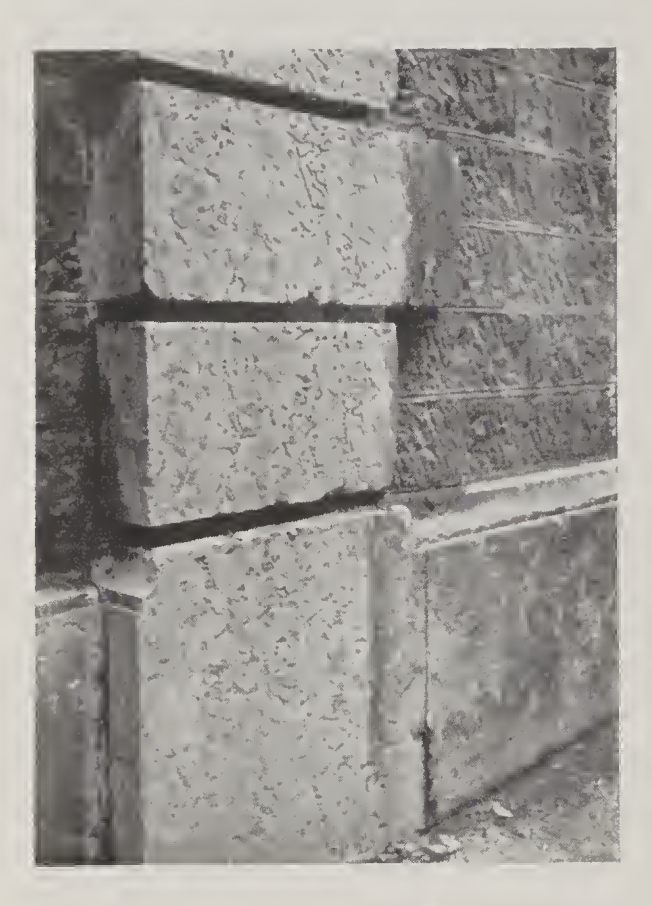


Fig. 74. Zurückwittern der Mergelkalkpartien in Mergelfleckenkalk aus dem Malm des französischen Juras. Genf.

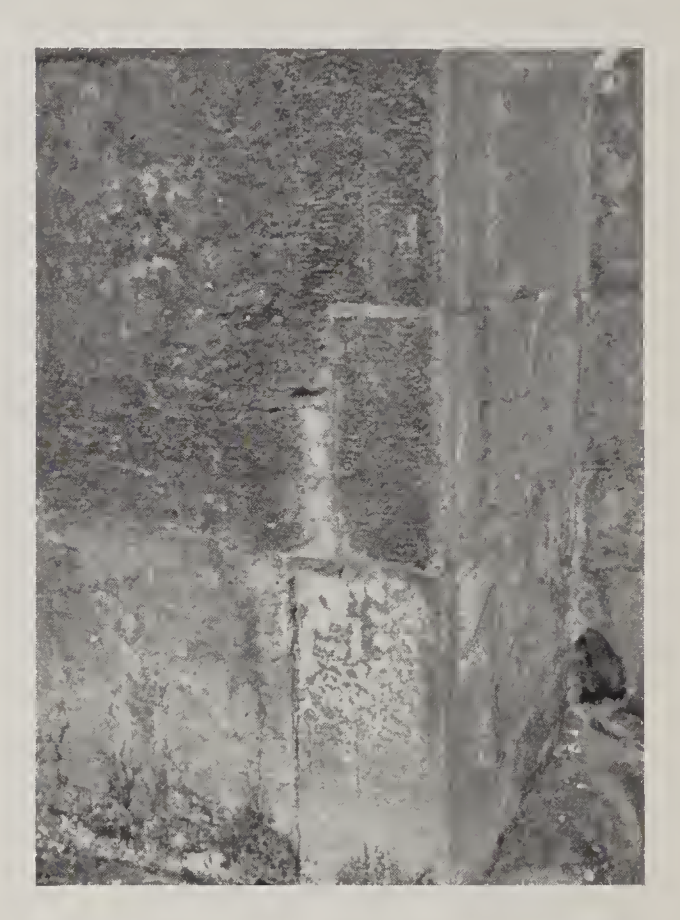


Fig. 75. Lokale Anreicherung von Sulfaten erzeugt auch im gelben Neuenburger Stein Aushöhlungen (unter Bildung von Verwitterungskulpturen). Stiftskirche Neuchâtel.

Die Kalksteine von Hauterive („pierre jaune“ de Neuchâtel). Diese nehmen unter allen jurassischen Bausteinen durch ihre poröse Beschaffenheit bei spätiger Struktur eine Sonderstellung ein. Ihre Wetterfestigkeit an Hochbauten (auch an feinern Steinarbeiten) ist bekannt und wird durch die alten Bauten in Neuchâtel vielfach bewiesen. Die zahlreichen Bauten aus dem Anfang des 19. Jahrhunderts, aber auch Fassaden aus der Barock- und Renaissanceperiode und aus dem Mittelalter (Stadtkirche, Schloß) sind in der Hauptsache (mit gewisser Altersabstufung) noch ganz intakt oder nur an den besonders angreifbaren Bereichen etwas angewittert. So zeigen Stellen mit oberflächlich erheblicher Sulfatanreicherung eine typische Absandung mit Bildung von Verwitterungsskulpturen (Fig. 75), vereinzelt auch schwache Schalenbildung. Einzelne Steine mit erheblicheren Schäden entstammen offensichtlich schlechteren Lagen. Gipskrusten treten auch auf, aber verhältnismäßig wenig ausgedehnt, sie sind mit dem Stein auch nicht stark verbunden. Der Stein bedeckt sich auch an Hochbauten auf der Regenseite in einem Ausmaß mit Flechten, wie dies an Molassebauten anderer Städte nicht beobachtet wird. Beim Vergleich des „pierre jaune“ mit Molassesandsteinen darf allerdings nicht übersehen werden, daß Neuchâtel, insbesondere dessen Altstadt am See, relativ günstige Rauchgasverhältnisse aufweist. Für Gebäudesockel an Verkehrsstraßen, Randsteine usw. sind diese Gesteine zu weich und unterliegen Beschädigungen durch menschliche Einwirkungen.

Die oolithisch-spätigen Kalksteine des Doggers (Hauptrogenstein, Callovien). Die zahlreichen Gewinnungsstellen in den reinen Oolithkalken des mittleren Doggers im Basler Jura und angrenzenden Gebieten liefern praktisch nur Bruchsteine und Mauersteine in roher Bearbeitung. Sie sind zum größten Teil nicht frostfest und erfahren an stark durchfeuchteten Stellen Zerbröckelungen und auch einen absandungsartigen Zerfall. Immerhin mag es auch bessere Lagen geben. Gegen Westen wird der Hauptrogenstein stark spätig (z. B. Balsthal, Asuel und Saulcy im Berner Jura), ist damit von weit besserer Beschaffenheit und in den besten abgebauten Schichten ganz frostbeständig. Auch die grobspätigen Kalksteine des Callovien („dalles nacrées") des Neuenburger Juras sind sehr beständige Gesteine. Alle diese Spatkalke werden aber vorwiegend nur im Straßenbau verwendet.

Die Kalksteine von Savonnières und ähnliche. Diese in der Westschweiz viel verwendeten porösen Oolithkalke aus Ostfrankreich sind seit alters durch ihre Wetterbeständigkeit an Hochbauten auch an feinsten Steinhauer- und Bildhauerarbeiten bekannt. Man beobachtet bei ihnen tatsächlich nur an sehr den Sulfateinwirkungen ausgesetzten Bereichen im Verlaufe der Jahrzehnte gewisse Zerstörungen (Fig. 76).



Fig. 76. Der Kalkstein von Savonnières zeigt Gipskrustenbildung (unter der Muschel) mit Abblätterung. Seitlich starkes Flechtenwachstum, Gestein intakt. Alter etwa 45 Jahre.

Alpine Kalksteine.

Die alpinen Kalkvorkommen lieferten weniger Material für Bauzwecke als der Jura, zudem größenteils erst seit Mitte des vorigen Jahrhunderts. Im großen ganzen sind die Steine der wenigen Vorkommen, die infolge der starken tektonischen Klüftigkeit in größerem Umfange ausbeutbar sind, wegen größerer Kristallinität (die Suturen sind meist verwischter, die Tonhäute nicht mehr erweichbar) von guter Wetterbeständigkeit. Für die Hauptbausteinvorkommen liegen folgende Beobachtungen vor:

Kalksteine von St-Triphon (Trias der Klippendecke). Diese an Sockeln früher sehr viel verwendeten dunklen, mikrokristallinen Kalksteine enthalten mehr oder weniger zahlreiche, ziemlich dicke (bis mehr als 1—2 mm), stark gewellte Tonschieferhäute, die durch ihre schwarze Farbe auf der angewitterten Gesteinsfläche hervortreten (Fig. 53). Die Beobachtungen an diesen, seit etwa 1870 verwendeten Kalken zeigen ihre im allgemeinen gute Beständigkeit. Nur Steine mit außergewöhnlich zahlreichen Tonschieferhäuten zeigen, auf den Spalt gestellt, gelegentlich Abblätterungen und Ausbrüche (wohl durch Frost); ziemlich häufig sind Ausbröckelungen längs den Tonschieferhäuten an feineren Steinarbeiten durch mechanische Einwirkungen (Beispiele am Hauptbahnhof Zürich, erbaut um 1870, Fig. 77).



Fig. 77. Kalkstein von St-Triphon mit schwarzen Tonschieferhäuten. Die Ausbröckelung an der Ecke der Verzierung beruht wohl ebensosehr auf Beschädigung als auf eigentlicher Verwitterung. Bahnhof Zürich. Alter etwa 70 Jahre.

Spatkalke von Arvel (Lias der Klippendecke). Die graurötlichen Kalksteine vom Mt. Arvel bei Villeneuve werden seit mehr als 80 Jahren sehr viel am Genfer See, vereinzelter im ganzen

Mittelland als Mauer-, Sockel- und Fassadensteine, sowie zu dekorativen Zwecken verwendet. Die Steine enthalten sehr reichlich Tonschieferhäute, die aber äußerst dünn sind und rasch auskeilen. Im Hochbau zeigen die Arvelsteine, auch ältere, keine oder ganz unbedeutende Verwitterungserscheinungen (Beispiel: große Renovationsarbeiten um 1890 an der Genfer Kathedrale, so am Chor und Nordturm). Gelegentlich zu beobachtende Risse an Steinen im Grundfeuchtebereich sind wohl Frosterweiterungen von schon ursprünglich vorhanden gewesenen Haarrissen, da sie gradlinig und in beliebiger Richtung verlaufen. An polierten Steinen geht im Freien die Politur zwar ebenfalls verloren, doch sind die damit verbundenen Verfärbungen wenig auffällig.

Brekzienkalksteine von Yvorne (Malm der Klippendecke). Die gute Beständigkeit auch unter städtischen Verhältnissen dieser eigenartigen rot-braun-grau gefärbten und weiß geaderten, fossilreichen Kalksteine zeigen die von 1752/56 stammenden Säulen am Westportal der Genfer Kathedrale, die aus mehreren großen Teilstücken des Steines von Yvorne zusammengesetzt sind. Sie weisen verschiedene Flicke (ursprünglich?) auf, lassen aber im Gegensatz zu den Säulenbasen aus Jurakalk keine erheblichen Verwitterungserscheinungen erkennen.

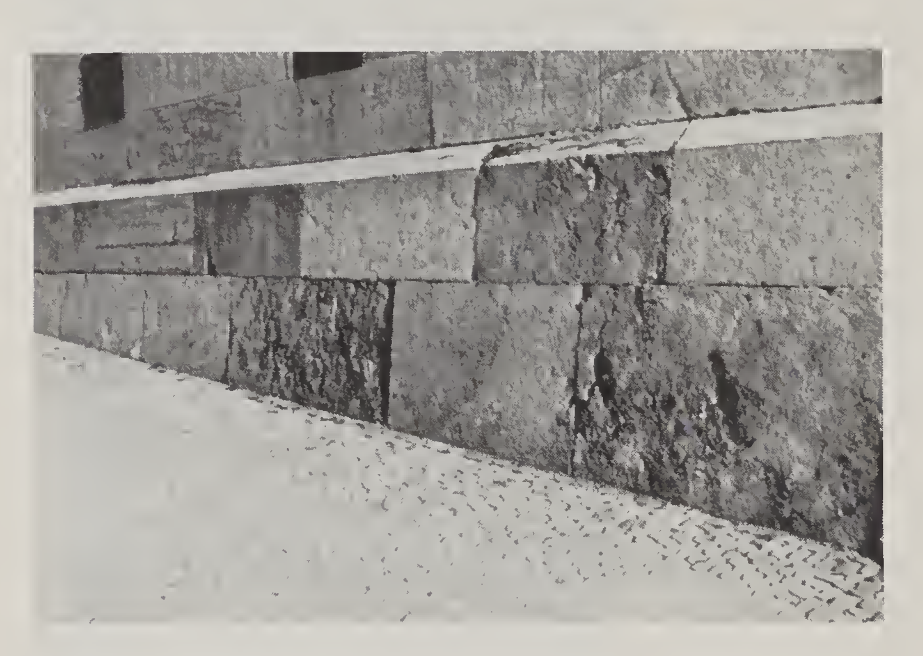


Fig. 78. Lithothamnienkalkstein des alpinen Tertiärs (Ralligmarmor). Die Mehrzahl der Steine ist sehr gut erhalten, einige, die auf den Spalt gestellt wurden, zeigen einige Ausbröckelungen längs Tonhäuten. Bundeshaus Westbau. Alter 90 Jahre.

Spatkalksteine von Collombey (autochthone Unterkreide). Diese rötlichen oder rötlichgrünlichen spätigen Kalksteine, die außer zu dekorativen Arbeiten zu Sokkel- und Fassadenarbeiten dienen, sind nach den Beobachtungen an Bauwerken, die bis mehr als 50 Jahre alt sind, kaum verändert.

Kieselkalke der Hauterivienstufe. Die Kieselkalke dienen in größerm Maßstabe als Mauersteine, dazu noch als Stellsteine und Pflastersteine. Das Material aus den homogenen Kieselkalkbänken hat sich durchweg als beständig erwiesen. Bei Mauerungen wird dagegen öfters Material aus den kieselig-mergeligen Zwischenlagen mitverwertet. Diese unterliegen mit der Zeit der Frostauflockerung, so daß nach einigen Jahrzehnten solche Mauern erhebliche Schäden zeigen können.

Über die aus vielen zerstreuten, meist unbedeutenden Brüchen in dichten Malm- und dichten oder leicht oolithisch-spätigen Kreidekalken stammenden Bausteine fehlen die nötigen systematischen Beobachtungen. Da die meisten Brüche heute verlassen sind, ist es oft sehr schwer, die Herkunft von älterem Bausteinmaterial zu ermitteln. Die meisten dieser Kalke haben sich während vieler Jahrzehnte bis Jahrhunderte gut gehalten. Als Beispiel sei wenigstens die aus großen Quadern von Malmkalk aus Quinten 1838 errichtete Helmhausbrücke in Zürich erwähnt, die sich bis heute tadellos gehalten hat.

Von den grobspätigen Nummulithenkalken liegen von den reich geaderten Ragazer Vorkommen günstige, von den sehr durchklüfteten Einsiedler Bänken mit vielen Tonhäuten auch weniger gute Angaben vor. Beide werden heute nicht mehr benützt. Die eozänen fossilreichen Lithothamnienkalke des Sigriswiler Grates (Ralligmarmore) wurden früher in Bern viel benützt und haben sich gut gehalten (Fig. 78).

Die quartären Kalktuffe.

Seit den ältesten Zeiten sind Kalktuffe (in relativ porenarmer Form auch Travertine genannt) als Baumaterial viel verwendet worden. In den gut verfestigten Formen (frei von organischer Substanz), mehr oder weniger löcherig, gehören die Tuffe zu den wetterbeständigsten Gesteinen, die es überhaupt gibt, was auch für viele schweizerische Vorkommen zutrifft. Viele Tuffe sind neben völliger Frostfestigkeit auch weitgehend sulfatbeständig. Beispiele über das gute Verhalten auch der ältesten

Bauwerke aus Kalktuff findet man vereinzelt in der östlichen und zentralen Schweiz (z. B. Tößbrücke in Rorbas von 1806, Kirchturm Stans aus romanischer Zeit, alte Nideckbrücke, Bern), viele in Freiburg (Saanebrücken [Pont St-Jean 1746], Stadtmauer, alte Sockelverkleidungen usw.) und vor allem im Wallis und untersten Rhonetal, wo die in Kalktuff gemauerten Kirchturmhelme, meist aus gotischer Zeit, zum Landschaftsbild gehören. An neuern Anwendungen in Städten sind zu nennen das Landesmuseum und die Kirche Enge in Zürich, beide aus den 90er Jahren und heute noch ganz intakt. Die gute Beständigkeit des Tuffes rührt von der vollkommen kompakten Kornverwachsung, dem völligen Fehlen von mergeligen Einlagerungen, Tonhäuten, Suturen, der wegen der löcherigen Beschaffenheit geringen Sprödigkeit (Fehlen von Rissen), her. Die Löcher sind viel zu groß und zu offen, als daß eine Frost- oder gar Sulfatsprengwirkung einsetzen könnte. Die Tuffe schwärzen sich auch weniger als kompakte Kalksteine an regengeschützten Stellen durch Gipskrustenbildung, da sich das Sickerwasser in den Löchern verliert und hier weniger sichtbar Gipsausscheidungen hervorrufen kann.

c) Verschiedene alpine Sedimentsteine.

Ganz kurz sei das Verhalten der folgenden Gesteine charakterisiert:

Flyschsandsteine. Als Mauerstein, Randsteine, Stellplatten usw. wetterfest. Als Pflastersteine ebenfalls fast immer ohne Schäden, auch nach Jahrzehnten; nur ganz gelegentlich sind dünne Schalenbildungen, ähnlich den kalkreichen Molassesandsteinen, beobachtet worden, bei Gesteinen mit Glimmerlagen auch Aufspaltungen. Die heute nicht mehr benützten, stark geschieferten Sandsteine der Umgebung von Chur haben sich wie viele alte Haustein- und Bildhauerarbeiten daselbst (Fig. 1) zeigen, recht gut gehalten.

Verrucanoschiefer bis -brekzien und Melser Sandsteine. Diese bei Mels und Murg gebrochenen Gesteine sind praktisch völlig wetterfest, auch gegen Rauchgase sehr widerstandsfähig. Man kann oft Anwendungen im Grundfeuchtebereich beobachten ohne jedes Angriffsanzeichen. Auch die Tatsache, daß viele erratische Blöcke aus diesem Material frei aufliegend erhalten geblieben sind, spricht für die gute Beständigkeit.

Sandsteine und Konglomerate des Karbons. Die stark verfestigten, klastischen Karbongesteine der Umgebung von Vernayaz-Salvan, die häufig zu Mauerungen, gelegentlich auch zu feinern Hausteinarbeiten lokal gebraucht wurden, sind zur Hauptsache ganz wetterbeständig. An alten Objekten (z. B. Kirche von Salvan) aus geschieferten Varietäten, kann man an stark durchfeuchteten Stellen einige Absplitterungen und Rißbildungen beobachten, die wohl durch Frost entstanden sind.

d) Die kristallinen Gesteine.

Beobachtungen über Verwitterungserscheinungen an kristallinen Gesteinen liegen nur spärlich vor, und zwar deshalb, weil diese Gesteine in größerem Umfang nördlich der Alpen erst seit Ende des vorigen Jahrhunderts (Eröffnung der Gotthardbahn) verwendet werden, was in Anbetracht der allgemein guten Wetterbeständigkeit eine zu kurze Beobachtungsperiode ergibt. Sehr alte Steinbauten aus Graniten und Gneisen bestehen vor allem im Tessin und Wallis, hier liegen aber ganz ländliche Verhältnisse vor. Im folgenden werden nur die Hauptgesteinsgruppen, soweit dies heute schon möglich ist, kurz charakterisiert.

Granite des Aarmassivs (Reußtal u. a.). An Hochbauten (meist für Sockel) sind die Granite von Gurtnellen, Wassen und Göschenen, z. T. in reichem Haustein verwendet, sehr beständig. Sehr gut, z. T. durch Jahrhunderte, haben sich auch die Brunnen, Wegkreuze (z. B. in Muri von 1722, ganz von Flechten überkrustet und dadurch geschwärzt) usw. gehalten, wie man sie an vielen Stellen im Mittelland trifft. Das Material entstammte erratischen Blöcken und ist natürlich nur ungefähr heimzuweisen. Daß das Gestein der Blöcke besonders beständig ist, kann man durch die Tatsache, daß diese Blöcke seit vielen tausend Jahren frei herumlagen, ohne zu zerfallen, leicht verstehen. In sehr

sulfatreichen Bereichen (Unterseite von Gesimsen und Verzierungen) wurde aber bei Aaregraniten doch mehrfach eine Lockerung in Verbindung mit Gipskrusten (Fig. 80) beobachtet, z. B. am Bahnhofgebäude Luzern nach etwa 40 Jahren. Normale größere Schalenbildungen wurden an Gebäuden nördlich der Alpen nicht bemerkt, dagegen mehrfach Sockelschalen, die hier mehr Abblätterungen gleichen. Abschalungen, deren Zugehörigkeit nicht eindeutig ist, sind an Säulen aus einem den Reußtalgraniten verwandten Gestein aus dem Oberwallis am Stockalperpalast in Brig (aus der Mitte des 17. Jahrhunderts) zu sehen (Fig. 79). Als Pflasterstein und Randstein sind die Granite des Bruches Güetli, auch solche von Wassen und der Schöllenen, sehr beständig. Vereinzelt trifft man aber auch (z. B. in Zürich) Aaregranite (Herkunft?), die an den genannten Objekten einen absandungsartigen Zerfall zeigen und die auch nach dem Regen lange feucht bleiben (sog. Wassersöffer). Offenbar handelt es sich dabei um Gestein mit starker innerer Zertrümmerung. Gelegentlich sind Steine mit Pyriteinschlüssen geliefert worden, was dann zu braunen Flecken führte.



Fig. 79. Säule aus Aaregranit mit dünnen Abschalungen im Grundfeuchtebereich. Alter etwa 300 Jahre. Stockalperpalast in Brig.

Mt-Blanc-Granite. Diese in der Westschweiz viel verwendeten Gesteine (Herkunft: Moränen von Collombey-Monthey und aus der Umgebung von Martigny) dürften wohl im Verwitterungsverhalten ziemlich genau den Aaregraniten entsprechen. Man hat im untersten Rhonetal und am Genfer See überall Gelegenheit, völlig intakte Anwendungen (Randsteine, Sockel, Pfosten, Fensterbänke usw.) der letzten 100 Jahre aus diesem Material zu sehen. Gelegentlich wird auch Braunfleckenbildung durch Pyriteinschlüsse erwähnt.

Granitgneise des Tessins (Val Leventina, Val Verzasca, Valle Maggia). Die zahlreichen Anwendungen im Tessin aus frühern Jahrhunderten zeigen die praktisch unbeschränkte Beständigkeit der guten Gesteine unter den dortigen Verhältnissen. Die Beobachtungen an sehr mannigfachen Steinarbeiten nördlich der Alpen seit Ende des vorigen Jahrhunderts weisen ebenfalls auf die im allgemeinen sehr gute Wetterfestigkeit der Granitgneise hin. Vor allem sind die Gneise vollständig frostbeständig, alle Arbeiten in gut beregneten, wenn auch oft nassen Bereichen (wie die massenhaft verwendeten Randsteine, Treppenstufen im Freien, Bodenplatten, Monumente) aus guten Granitgneisen zeigen sozusagen nie Verwitterungsanzeichen. An sehr sulfatreichen Bereichen in Städten fehlen leichte Schäden (Gebiet der Grundfeuchte ohne Regenbenetzung, Unterseite von Vorsprüngen) nicht. Meistens haben sie die Form von Abblätterungen oder Absandungen und sind oft mit Gipskrusten verbunden (Fig. 7). Auch charakteristische Sockelschalen beobachtet man nicht selten. Es scheint, daß gröber gekörnte Gesteine etwas weniger widerstandsfähig sind als die feinkörnigen, auch dann, wenn letztere glimmerreicher sind. Vielfach scheinen die Abblätterungen auch durch eine unzweckmäßige Bearbeitungsart (feines Stocken) begünstigt worden zu sein, jedenfalls findet man die gelegentlichen Schäden vorzugsweise an eigentlichen Hausteinen, dagegen weniger an roh bearbeiteten Steinen für



Fig. 80. Aaregranit mit Gipskrustenbildung und Gesteinslockerung unter dem Gesimse. Bahnhof Luzern. Alter etwa 40 Jahre.

ein Bruchstein- oder Schichtenmauerwerk, oder bei bloß gespaltenen Verkleidungsplatten. Die ganz auffällig plattenförmig spaltenden Gneise aus Valle Maggia scheinen besonders widerstandsfähig zu sein, sie können unbedenklich auf den Spalt gestellt werden. Pflästerungen aus Tessiner Gneisen (aus der Leventina) sind zu jung, um Beurteilungen zu gestatten.

Roffnagneise (Andeerer Granite). Diese grünen porphyrischen Gneise werden erst seit anfangs des Jahrhunderts in erheblicherem Umfange verwendet, hauptsächlich für monumentale und dekorative Arbeiten. Bisher zeigten sich an diesen Steinen nur vereinzelt Schäden, dies besonders an fein gestockten Steinen im Bereich der Grundfeuchte (Gebäudesockel), wo sich die dünnen Sockelschalen, oft eher als Abblätterungen zu bezeichnen, öfters bemerkbar machen. Gelegentlich kamen auch Steine mit kleinen Pyriteinschlüssen in den Handel, die zu braunen Flecken Veranlassung gaben.

An den grünlichen Plattengneisen der S.-Bernardino-Region sind bisher keine Beobachtungen über Verwitterungsschäden gemacht worden, ebensowenig an den plattigen Quarziten (Trias) aus Graubünden und dem Wallis, deren Verwendung erst neuern Datums ist.

Weitere Granite (und andere Eruptivgesteine). Nach den Beobachtungen an Bauobjekten oder Monumenten sind die bei uns früher ziemlich oft angewandten ausländischen Granite (z. B. von Baveno, Tiefenstein im Schwarzwald, Skandinavien), Syenite (Biella, Südnorwegen [farbenschillernde „Labradore"]), Diabase (Lausitz, Schweden [schwarze schwedische „Granite"]) fast durchweg sehr beständig. An Graniten wurden schon die üblichen kleinen Sockelabschalungen beobachtet. Unverändert, auch in bezug auf Politur und Färbung, bleiben die „schwarzen schwedischen Granite" und die „Labradore".



Fig. 81. Der mittlere Randstein aus gelockertem Granit bleibt nach Regen lange feucht und zeigt Absandungen (sog. Wassersöffer). Die benachbarten Steine aus Tessiner Granitgneis, wie die Pflastersteine aus Kieselkalk trocknen weit rascher.

Über die Beständigkeit der früher viel gebrauchten ausländischen Pflastersteine aus Eruptivgestein liegen aus ältern Pflastern mit genauer Herkunftsangabe nur vereinzelte Beobachtungen vor. Sowohl die Granite (Bayrischer Wald, Passauer Wald, Schwarzwald, Vogesen) als die Porphyre und Porphyrite (Südtirol, Quénast in Belgien) und die Basalte (Mitteldeutschland) unterlagen in der großen Mehrzahl kaum Zerstörungen unter Witterungseinflüssen. Eigentliche Wassersöffergranite dürften sehr in der Minderzahl sein, Sonnenbrandzerfall ist an den wenigen Basaltpflästerungen nicht bemerkt worden. Allerdings darf nicht vergessen werden, daß defekte Steine meist rasch ausgewechselt werden, so daß ein zu günstiges Bild der Haltbarkeit entsteht.

Serpentine. Die Serpentine werden selten zu Bauzwecken verwendet, weil nur ausnahmsweise die Klüftung dieser Gesteine so gering ist, daß größere Werkstücke gewonnen werden können. Wo man alte Arbeiten aus Serpentin beobachtet, z. B. Fensterumrahmungen der Kirche Naters (Herkunft Saastal?), und Portale, Wappen (z. T. zwei bis vier Jahrhunderte alt) usw., in Poschiavo (Malencoserpentin), fällt die gute Erhaltung auf. Die seit zwölf Jahren in Selva bei Poschiavo abgebauten und meist poliert verwendeten grünen bis schwärzlichen Serpentine von sehr kompakter Struktur dürften sehr wetterbeständig sein. Auf dem Lande behalten sie den Farbton und die Politur lange, in rauchgasreichen Städten tritt eine Veränderung ins olivbräunliche ein, wenn die Objekte nicht regelmäßig abgerieben werden.

Die Kalksilikatgneise („granito nero") und die silikatführenden Marmore von Castione werden nördlich der Alpen seit etwa 50 Jahren verwendet. Bisher wurden an den (großenteils polierten) Arbeiten im Freien keine eigentlichen Verwitterungserscheinungen, abgesehen von gelegentlichen dünnen

Abschalungen in bodennahen Bereichen (Sockelschalen) bemerkt. Die Marmore werden mit der Zeit aufgerauht, was aber meist günstig wirkt. An großen, dünnen Platten wurden leichte Verbiegungen beobachtet, vielleicht als Wirkung einseitiger Sonnenerwärmung. Ob die Marmore mit der Zeit durch Temperaturwechsel eine Kornlockerung erfahren, wie dies ähnliche ausländische Marmore zeigen, kann noch nicht gesagt werden.

e) Oberflächenverfärbungen an Bausteinen (Patinabildung).

Über die normalen Verfärbungen der Oberfläche der wichtigsten Bausteine im angewitterten Zustande findet sich eine Übersicht in nachstehender Tabelle. Unter normalen Verfärbungen sind nur solche verstanden, an denen keine Krustenbildungen oder Überzüge, wie sie im Abschnitt 4 behandelt wurden, beteiligt sind.

Tabelle 2.

Molassegesteine und verwandte Sandsteine

Gestein	Färbung	
	frisch	angewittert
Granitische Sandsteine	aschgrau mit Stich ins Grünliche oder Rötliche	graubraun, viel dunkler als frisch
Plattensandsteine	dunkel olivgrün bis bläulichgrün	Veränderung geringfügig gegen bräunlich
Kalkreiche Sandsteine	grau, heller bis dunkler	graubräunlich, eher heller als frisch
Muschelkalksteine	gelbbräunlich, grünlichgrau, bläulichgrau	Veränderung gegen bräunlich oder neutralgrau, etwas dunkler werdend
Berner Sandsteine	olivgrün, graugrünlich, bläulichgrün	Veränderung gering, etwas dunkler und bräunlicher werdend
Schilfsandsteine	grünlichgrau, bräunlichrot bis tief violettrot, oft gefleckt	geringe Veränderung
Buntsandsteine	blaßrötlich bis tiefrot	geringe Veränderung

Kalksteine

Gestein	frisch	angewittert
Helle, feinkristalline Jurakalksteine	hellgelblich, hellgrau, hellbräunlich	noch heller, oft fast weiß werdend
Spätig-oolithische Jurakalksteine	meist gelblichbraun bis braun	meist ebenfalls heller werdend
Poröse spätige Jurakalksteine (z. B. „pierre jaune“)	ockergelb bis grünlichgelb oder bräunlichgelb	Veränderung gering, eher etwas nachdunkelnd
Kalktuffe	hellgelblich	dunkler werdend
Dunkle, feinkristalline alpine Kalksteine	neutralgrau, bläulichgrau bis fast schwarz	schiefergrau bis hellsilbergrau; viel heller als frisch
Spätige Alpenkalke	grau, rötlichviolett	heller werdend, langsamere Veränderung

Tabelle 2.

Kristalline Gesteine

Gestein	Färbung	
	frisch	angewittert
Aaregranite, Mont-Blanc-Granite, Gotthardgranite, Verzascagranitgneise	hellgrau bis grauweiß, zum Teil leicht grünlich oder violett	dunkler werdend, auf horizontalen Flächen bräunlich, auf vertikalen grau, bisweilen bräunliche Flecken
Granitgneise der Leventina und von Valle Maggia	grau, heller oder dunkler	Änderung auf vertikalen Flächen gering, horizontale werden bräunlich
Granitgneise des Hinterrheingebietes (Roffnagneise „Andeerer Granite", Plattengneise von Hinterrhein und S. Bernardino), Gneise vom Passo Barna	grünlich bis intensiv grün oder bläulichgrün	vertikale Flächen meist lange ohne Änderung, horizontale werden allmählich etwas bräunlich
Plattenquarzite	grünlichgrau, bräunlich	Veränderung gering
Granophyre (Luganer See)	hellrot bis ziegelrot	sehr beständig
Granite von Baveno	weißlich oder blaßrötlich	allmählich dunkler werdend, bräunlicher auf horizontaler Fläche
Kalksilikatgneise (Castione)	grau, mit hellen, grünlichen und bräunlichen Lagen und roten Flecken	langsame Veränderung zu bräunlich
Silikatmarmore (Castione)	weiß-grau gestreift	Licht gelblichbraun
Serpentine	hell- bis dunkelgrün	Veränderung gegen Oliv und Bräunlich

Verschiedene alpine Sandsteine und Brekzien

Flyschsandsteine	grau	geringe Veränderung, Tendenz zu bräunlich
Verrucanobrekzien	violettrot, tiefrot	unverändert
Melser Sandsteine	weißlich bis rötlich	etwas dunkler
Karbonsandsteine	dunkelgrau	Veränderung gering

6. Vergleiche zwischen der Verwitterung in der Natur und am Bauwerk.

Im allgemeinen können Vergleiche zwischen der Gesteinsverwitterung am Bauwerk und in der Natur am Fels nur mit größter Vorsicht gezogen werden, da die allgemeinen Bedingungen zu verschiedenartig sind. Am ehesten vergleichbar ist eine Mauer mit einer entsprechend steilen Steinbruchwand von möglichst gleichem Alter in homogenem, flach liegendem Gesteinsmaterial. Bei Molassesandsteinen liegen die Verhältnisse für solche Beobachtungen am günstigsten, da die Verwitterungs-

erscheinungen an Mauern jeden Alters ja gut bekannt sind, und in verschiedenen verlassenen Brüchen senkrechte Wände in einheitlichem Material bestehen, deren Alter ungefähr feststeht.

Am aufschlußreichsten sind Vergleiche bei der granitischen Molasse und bei den Berner Sandsteinen. Die erstere zeigt an Hochmauern bei starker Durchfeuchtung die Schalenbildung in sehr ausgeprägtem Maße, in Steinbrüchen bleiben homogene Bänke in senkrechten Wänden sehr lange, von einer oberflächlichen Bräunung abgesehen, ziemlich unverändert, eine typische Schalenbildung wurde nicht beobachtet.[1]) Da wo von oben reichlich Wasser einsickert, kann ein starkes Absanden und Abblättern durch Frost eintreten. Wo allerdings eine Wand in tiefern Partien leichter zerstörbare mergelige Schichten enthält, zerfällt sie rasch. Alle nicht ganz senkrechten Wände bedecken sich rasch mit Pflanzenwuchs (auch mit Blütenpflanzen und Sträuchern) und lassen dann keine Vergleiche mehr mit Bauwerken zu.



Fig. 82. Steinbruchwand in Berner Sandstein (Krauchtal). Zeigt trotz hohem Alter nur geringe Veränderungen. Die Verarbeitungsspuren sind meist noch sichtbar. Phot. M. Gschwind.

Ähnliches beobachtet man an den senkrechten, oft sehr einheitlichen Steinbruchwänden im Berner Sandstein. Nicht durch Einsickerung durchnäßte Wände bleiben hundert Jahre wenig verändert, das Absanden daran ist meist gering (Fig. 82). Überall da, wo zusätzlich Wasser hinzutritt, ist der Zerfall rasch und kann dann Einstürze noch intakter Partien verursachen. Völlige Unversehrtheit durch viele Jahrzehnte zeigen auch die Wände der Muschelkalksteinbrüche.

Diese Beobachtungen zeigen mit aller Deutlichkeit folgendes:

1. Auch in sehr porösen Sandsteinen, wie sie bei der granitischen Molasse und den Berner Sandsteinen vorliegen, genügt die durch fallenden Regen auf völlig ungeschützte Mauern gelangende Feuchtigkeit nicht, um eine Frostzerstörung zu bewirken. Eine solche bedarf eines zusätzlichen Wasserzuflusses.
2. Die Absandungen und Abblätterungen an Mauerungen in Städten beruhen in erster Linie auf Sulfatwirkung, wenigstens im Anfangsstadium.
3. Die Schalenbildung hat tatsächlich ein innen trockenes Material und eine Form und Stellung des Steines, die rasches Austrocknen begünstigt, sowie eine „städtische Atmosphäre“ zur Voraussetzung. Beides ist an Wänden in der Natur nicht vorhanden.

Gewisse Vergleiche können auch zwischen Bausteinen im Grundfeuchtebereich (besonders Sockelsteinen und Monumenten im Freien) und natürlichen Blöcken gezogen werden. Solche Blöcke liegen als erratisches Material seit der Eiszeit im Mittelland in großen Mengen herum. Hier zeigt sich durchweg, daß die weichern Molassegesteine in Blockform im Grundfeuchtebereich liegend, die Jahrtausende seit der Ablagerung nicht überstanden haben, während z. B. von den oft verwendeten Bausteinen die Aaregranite (des Reußtales z. B.) bekanntlich im Mittelland früher massenhaft herumlagen und viele heute noch bestehen. Diese Blöcke sind meist stark bewachsen (mit Flechten, Moosen, auch

[1]) Öfters zeigen alte Wände aus homogenen Molassesandsteinen eine plattige Absonderung parallel der Oberfläche. Hier handelt es sich in der Anlage nicht um eine Verwitterungserscheinung, sondern um eine Klüftung, die eher mit der Talklüftung oder mit der Bergschlagerscheinung verwandt ist. Natürlich können nachträglich durch einsickerndes Wasser und Frost diese Klüfte erweitert werden, verbunden mit einem Ablösen von Schalen, die aber meist viel dicker sind als die am Bauwerk beobachteten.

mit Blütenpflanzen), zeigen aber unter einer dünnen, etwas veränderten Oberflächenschicht das frische Gestein; sie wurden deshalb ja auch zu Bauzwecken zerstört. Gerade dieser Gegensatz zwischen den alten Blöcken im Grundfeuchtebereich (in Wiesen, Wäldern usw.) und den mehrfach kleinere Verwitterungsschäden zeigenden Sockelsteinen an Bauten, die hundert- bis tausendmal jünger sind, beweist wiederum die Bedeutung der Sulfateinwirkungen in Städten, anderseits aber auch die für den Stein ganz unschädliche (vielleicht sogar nützliche) Einwirkung des Pflanzenwuchses. Eine gewisse Einschränkung für die Vergleiche liegt allerdings darin, daß die Bausteine eine durch Bearbeitung etwas veränderte Oberfläche aufweisen und daß bei den heute noch bestehenden erratischen Blöcken eine gewisse Auslese stattfand (obschon petrographisch mit dem heute gebrochenen Material identisch). Auch Granitgneise vom Typus der Tessiner Vorkommen, Roffnagneise, Malmkalke, Kieselkalke, Verrucanogesteine, um einige weitere als Bausteine verwendete Materialien zu nennen, werden erratisch oft gefunden. Eigentümlich ist bei den kristallinen Gesteinen der Umstand, daß sie, sofern sie nicht frei an der Erdoberfläche liegen, sondern in Moränen oder Schottern oberhalb des Grundwasserspiegels eingebettet sind, an die Oberfläche gebracht, gewöhnlich in einem Winter durch Frost zerstört werden. Bei kalkigen Gesteinen ist dies dagegen nicht der Fall, ebenso nicht bei Gesteinen, die unterhalb des Grundwasserspiegels lagerten.

Literatur.

a) Allgemeines über Verwitterung: Es sind nur einige Hauptwerke zitiert, die eine Fülle von Angaben über Spezialuntersuchungen enthalten:

1. HIRSCHWALD, J. Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung. Berlin 1912.
2. HIRSCHWALD, J. Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterfestigkeit. Berlin 1908.
3. KAISER, E. Über eine Grundfrage der natürlichen Verwitterung und die chemische Verwitterung der Bausteine im Vergleich mit der in der freien Natur. Chemie der Erde, Bd. 4, 1930, S. 290—342.
4. KIESLINGER, A. Zerstörungen an Steinbauten. Leipzig und Wien 1932.
5. POLLAK, V. Verwitterung in der Natur und an Bauwerken. Wien 1923.
6. DE QUERVAIN, F. Prüfung der Wetterbeständigkeit der Gesteine. Handbuch der Werkstoffprüfung, Bd. 3, Berlin 1941.
7. RATHGEN, F., und KOCH, J. Verwitterung und Erhaltung von Werksteinen. Berlin 1934.
8. SCHAFFER, R. J. Building Research Report. London 1932.
9. SCHMÖLZER, A. Zur Entstehung der Verwitterungsskulpturen an Bausteinen. Chemie der Erde, Bd. 10, 1936, S. 479—520.

b) Untersuchungen in der Schweiz:

10. Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie, Lief. 5, 1915.
11. GSCHWIND, M., und NIGGLI, P. Untersuchungen über die Gesteinsverwitterung in der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie, Lief. 17, 1931.
12. DE QUERVAIN, F., und GSCHWIND, M. Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. Bern 1934.
13. DE QUERVAIN, F. Über Verwitterungserscheinungen an Bausteinen. Hoch- und Tiefbau, 1938, S. 78, 197, 289.




UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 098560649